CIENTÍFICOS
EN 90 MINUTOS

PAUL STRATHERN

PACK 1

CURIE
Y LA RADIACTIVIDAD

EINSTEIN
Y LA RELATIVIDAD

BOHR
Y LA TEORÍA CUÁNTICA

HAWKING
Y LOS AGUJEROS NEGROS

NEWTON
Y LA GRAVEDAD

GALILEO
Y EL SISTEMA SOLAR

Siglo XXI de España / En 90 minutos

Paul Strathern

Científicos en 90 minutos (Pack 1)

(CURIE y la radiactividad, EINSTEIN y la relatividad, BOHR y la teoría cuántica, HAWKING y los agujeros negros, NEWTON y la gravedad, y GALILEO y el sistema solar)

Diseño de portada
RAG

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes sin la preceptiva autorización reproduzcan, plagien, distribuyan o comuniquen públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo de soporte.

Nota a la edición digital:

Es posible que, por la propia naturaleza de la red, algunos de los vínculos a páginas web contenidos en el libro ya no sean accesibles en el momento de su consulta. No obstante, se mantienen las referencias por fidelidad a la edición original.

© De esta edición, Siglo XXI de España Editores, S. A., 2017
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.sigloxxieditores.com

ISBN: 978-84-323-1887-0

CURIE

Y LA RADIACTIVIDAD

EN 90 MINUTOS

PAUL STRATHERN

Siglo XXI de España / En 90 minutos

Paul Strathern

Curie y la radiactividad

en 90 minutos

Traducción: Antón Corriente

Revisión: José A. Padilla

Marie Curie fue un ejemplo para las mujeres que luchaban por el reconocimiento y la independencia y su contribución a la ciencia le mereció dos premios Nobel. Su trabajo sobre la radiactividad amplió nuestros conocimientos de la física nuclear y produjo enormes avances en el tratamiento del cáncer, pero los peligros inherentes a su trabajo eran desconocidos.
Curie y la radiactividad presenta una brillante instantánea de la vida y la obra de Marie Curie y ofrece una explicación clara y accesible del significado e importancia del descubrimiento de la radiactividad y de las implicaciones que ello tendría para la vida en el siglo XX y el futuro.

«90 minutos» es una colección compuesta por breves e iluminadoras introducciones a los más destacados filósofos, científicos y pensadores de todos los tiempos. De lectura amena y accesible, permiten a cualquier lector interesado adentrarse tanto en el pensamiento y los descubrimientos de cada figura analizada como en su influencia posterior en el curso de la historia.

Diseño de portada
RAG

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes sin la preceptiva autorización reproduzcan, plagien, distribuyan o comuniquen públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo de soporte.

Nota editorial:

Para la correcta visualización de este ebook se recomienda no cambiar la tipografía original.

Nota a la edición digital:

Es posible que, por la propia naturaleza de la red, algunos de los vínculos a páginas web contenidos en el libro ya no sean accesibles en el momento de su consulta. No obstante, se mantienen las referencias por fidelidad a la edición original.

Título original
The Big Idea: Curie and Radioactivity

Este libro se contrató a través de Ute Körner Literary Agent, S. L., Barcelona –www.uklitag.com– y de Lucas Alexander Whitley Ltd. –www.lawagency.co.uk

© Paul Strathern, 1998

© Siglo XXI de España Editores, S. A., 1999, 2015
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.sigloxxieditores.com

ISBN: 978-84-323-1726-2

Introducción

Marie Curie fue la mujer más excepcional del siglo XX. Sus descubrimientos merecieron dos premios Nobel de la ciencia, proeza que tardó más de medio siglo en ser igualada. Sus trabajos consiguientes en beneficio de la causa de la investigación del radio condujeron a importantes avances en la física nuclear y en el uso de la radioterapia para el tratamiento del cáncer. Tanto su marido, Pierre Curie, como su hija Irène Joliot-Curie fueron también galardonados con el Nobel. Marie Curie acabó muriendo de una leucemia causada por los años de trabajo en el aislamiento del radio en un laboratorio rudimentario. Todo esto suena demasiado perfecto como para ser real.

No sorprende que el mundo estuviera dispuesto a aceptar la imagen de santa secular que de ella pintó su hija Eve en la reverente biografía que publicó cuatro años después de su muerte. Este libro sirvió de inspiración a muchas mujeres en su lucha por el reconocimiento, como mujeres, como espíritus independientes y como científicas, pero también era el retrato de una de las mujeres más perfectamente aburridas que quepa imaginar. Por suerte, la verdadera Marie Curie era muy distinta. Como ahora sabemos, era una mujer muy apasionada, tanto en su obra como en su vida. Desesperadamente desgraciada en el amor, tuvo fuerza suficiente no solo para resistir las tentaciones del dinero y la fama, sino también el oprobio del escándalo público (fue una de las primeras víctimas de la prensa amarilla). Presentar a Marie Curie como una santa es difamarla. Fue una madre que se quedó sola para criar a dos hijas, y contribuyó de manera fundamental a la ciencia del siglo XX.

Vida y obra

Marie Curie nació con el nombre de Maria Skłodowska en Varsovia, el 7 de noviembre de 1867, la menor de cinco hermanos. Su padre era maestro de escuela, especializado en física y matemáticas. Su madre era directora del mejor colegio privado femenino de Varsovia, detrás del cual, en la calle Freta, vivía la familia.

Eran tiempos difíciles en Polonia, sometida entonces al dominio ruso. Tras el generalizado pero fracasado levantamiento de 1863, más de 100.000 polacos abandonaron el país. Muchos marcharon al exilio a lugares como París y Norteamérica, mientras que otros fueron enviados por la fuerza a Siberia. Tras el levantamiento, el control ruso se hizo cada vez más opresor. En la ciudadela del centro de Varsovia seguía habiendo ahorcamientos públicos cuando nació Maria. Allá por 1870, la madre de Maria contrajo la tuberculosis. En los mismos días su padre fue degradado en la escuela, en parte por ser polaco, pero también porque se sospechaba –con razón– que difundía sus principios nacionalistas entre los alumnos. El dinero ya escaseaba en la familia, pero no había llegado lo peor. En 1878, cuando Maria tenía diez años, su madre murió de tuberculosis y su padre fue despedido. Se vieron obligados a convertir la casa en pensión para llegar a fin de mes. Maria dormía en el salón, hacía los deberes cuando todos se habían acostado y se levantaba temprano para preparar la mesa con el desayuno de los huéspedes.

Las fotos de la época muestran a una Maria de aspecto corriente y expresión intensa. Tenía las mejillas abultadas de su madre, el pelo rizado recogido y labios gruesos y algo apretados. Pero su apariencia era casi lo único corriente en ella. En la escuela, en la que debía estudiar en un idioma extranjero, el ruso, demostró poseer una capacidad excepcional. Se graduó un año antes de lo habitual, a los 15 años, y obtuvo una medalla de oro. Y eso era todo. No había educación superior femenina en Polonia.

Como sus esfuerzos habían dejado a Maria con un aspecto algo pálido, fue enviada a pasar una temporada con sus tíos, miembros venidos a menos de la aristocracia terrateniente con pequeñas y remotas posesiones cerca de la frontera con Ucrania. Aquí Maria se encontró en «un oasis de civilización en un país de rústicos». Por primera y última vez en su vida vivió feliz y libre de preocupaciones. La tía Maria era una mujer liberada y quería hacer de sus hijas personas fuertes e independientes. La joven Maria y sus primas visitaban las casas vecinas de la aristocracia local, sorprendentemente culta. Allí se interpretaba música y se celebraban lecturas de literatura francesa y polaca, un cóctel embriagador que incluía a Chopin, Víctor Hugo, el gran poeta romántico polaco Mickiewicz y Słowacki, el Byron polaco, ambos habían muerto recientemente en el exilio. En los días festivos Maria y sus primas asistían a las fiestas campesinas vestidas con trajes típicos, bailando a menudo hasta el amanecer. Esto duró casi un año.

Cuando regresó a Varsovia, Maria se encontró con que su padre había perdido en desafortunadas inversiones el poco dinero que le quedaba. La familia vivía casi en la

pobreza y Maria se puso a trabajar como profesora para aportar su sueldo a las depauperadas arcas familiares. También entró en contacto con la «universidad libre» de Polonia, una institución ilegal de carácter itinerante, para evitar su detección por las autoridades rusas. Como era la norma, aquí daba además de recibir. A cambio de libros y conferencias ocasionales, leía para las mujeres trabajadoras, difundiendo entre ellas la cultura polaca. En la universidad libre, el socialismo, la ciencia y el escepticismo estaban a la orden del día, y Maria no tardó en perder todo resto de creencia religiosa. Empezó a leer de todo en varios idiomas: Karl Marx en alemán, Dostoyevski en ruso y poesía en francés, alemán, ruso y polaco. Incluso intentó escribir su propia poesía y trabajó para la revista clandestina *Prawda* (que significa «verdad». No confundir con su posterior homónima rusa, que difundía lo contrario).

Por suerte, *Prawda* estaba dedicada a la nueva religión de la ciencia, y Maria no tardó en ver la luz. El álgebra críptica y las fórmulas banales de la poesía cedieron gradualmente el paso a la poesía de altos vuelos de la matemática pura y al romanticismo del descubrimiento científico. Maria había encontrado su tema. Pero ¿qué iba a hacer ahora con él?, ¿dónde podía estudiarlo con algún fin?

Maria hizo un pacto con su hermana mayor, Bronia, que quería estudiar medicina. Ella trabajaría en Polonia para financiar los estudios de Bronia en París, y luego a cambio Bronia la ayudaría a estudiar ciencias, también en París.

Bronia fue a París y Maria fue a trabajar como institutriz en la casa que un pudiente administrador tenía en el campo, a casi 100 kilómetros de Varsovia. Su tarea consistía en educar a las dos hijas de la familia, una de las cuales era de su misma edad. Pero este no sería ningún oasis de cultura en un idílico medio rural. Pasadas las modestas fiestas de la cosecha de la remolacha y llegados los helados barrizales del invierno, a Maria le impactó sobremanera la pobreza e ignorancia de los campesinos del lugar. Sin olvidar su formación en la universidad libre, organizó una clase para enseñar a leer y escribir el polaco a los niños. Por si esto fuera poco, seguía con su propia formación. «A las nueve de la noche», escribió a su hermana, «cojo los libros y me pongo a trabajar […] hasta he cogido la costumbre de levantarme a las seis para poder trabajar más». Dice estar leyendo no menos de tres libros a la vez: La *Física* de Daniel «de la que he terminado el primer tomo», la *Sociología* de Spencer en francés, y las *Lecciones de anatomía y fisiología* de Paul Bers en ruso. «Cuando no me siento capaz de aprovechar la lectura, trabajo sobre problemas de álgebra y trigonometría, que no permiten perder la concentración y me devuelven al camino correcto.»

Todo esto quizá suena un poco excesivo, pero no hay duda de que Maria estudió mucho durante las largas y nevadas noches invernales. Desde los días en que dormía en el salón se había acostumbrado a arrancar tiempo de las horas de sueño para el estudio. Ahora tenía por fin un objetivo: París. Cuanto más se sumergiera en el trabajo, más cortos se harían los tres años de trabajo rutinario, y tanto mejor preparada llegaría a Francia.

Pero hasta la empollona más sosa y decidida tiene ocasionales ataques de normalidad. Llegó el deshielo a los campos y con él las flores verdes y moradas de la remolacha,

anunciando los largos y cálidos días estivales. El hijo mayor de los Zorawski regresó a casa a pasar las vacaciones. Kazimierz era estudiante de matemáticas en la Universidad de Varsovia, y un año mayor que Maria. Por lo que dice en sus cartas, ninguno de los otros jóvenes de la zona era «ni un poquito inteligente». Así que el rayo cayó, como suele ocurrir. Maria y Kazimierz se enamoraron.

Para cuando Kazimierz volvió a pasar las navidades, ya estaban hablando de matrimonio. Entonces los padres se enteraron de lo que había entre su querido Kaziu y su dedicada y formal institutriz, que además de no ser bella no tenía un duro. El matrimonio con una criatura tan desclasada era impensable para el hijo y heredero de los Zorawski. Mansamente, y quizá con cierto alivio, Kazimierz, que tenía entonces 19 años, se sometió a los deseos de sus padres. El romance había terminado. Maria estaba hundida, pero era lo bastante fuerte e independiente para no mostrar demasiado sus sentimientos.

Solo cabe imaginar lo que sufrió, apretando los dientes y mientras agotaba los años de su contrato. ¿Por qué no se fue? Kazimierz volvía de Varsovia cada vez que tenía vacaciones, y contra todo pronóstico, Maria no abandonó sus esperanzas. Año viene, año va. Cuando Bronia escribió desde Francia con la noticia de que planeaba casarse con un compañero estudiante de medicina, lo cual suponía que Maria pronto podría ir a París a vivir con ella, Maria hasta tuvo sus dudas. Pese a su anterior decisión casi obsesiva, habría estado dispuesta a dejarlo todo por Kazimierz.

Pero hubo amargura también. Cuando supo que su otra hermana, Helena, había sufrido un rechazo en circunstancias similares, encontró al fin un objeto legítimo para su ira. Al permitirse expresar sus sentimientos en una carta cada vez más emotiva en la que manifestaba su indignación por el sufrimiento de su hermana, podemos entrever algo de lo que había guardado para sí: «Puedo imaginar lo humillada que se ha sentido Helena en su orgullo […] si no les interesa casarse con chicas pobres, que se vayan al infierno […] ¿Pero por qué insisten en dar un disgusto a una criatura tan inocente?». Termina con una afirmación curiosa y reveladora: «Pero yo, incluso yo, mantengo una especie de esperanza de que no me desvaneceré por completo en la nada». Maria era consciente de los firmes rasgos de su carácter y de su imagen ante los demás. Su dedicación había exigido renuncia, y su sufrimiento negación de sí misma, pero no era una persona insignificante. Maria Skłodowska estaba ahora más decidida que nunca a hacer algo con su vida. Los años como institutriz la habían endurecido, cosa que hacía lo posible por ocultar. «A menudo la risa oculta mi profunda falta de alegría.» Pero cuando se reunió con la familia en Varsovia, les pareció evidente que algo había cambiado en ella, y se trataba de algo más que madurez, aunque ahora tenía 22 años.

Maria pasó otro par de años en Varsovia, trabajando como institutriz y ahorrando hasta el último *grosz*. Partió hacia París por fin en 1891, a los 24 años, edad a la que algunos de sus grandes contemporáneos estaban a punto de realizar grandes descubrimientos, cuando ella ni había empezado la carrera. A los 25 descubriría Einstein la relatividad, Marconi enviaría señales de radio a través del canal de la Mancha y Rutherford se lanzaría a la física nuclear.

Maria cogió el tren de Varsovia a París y viajó en cuarta clase, sentada en una butaca plegable de lona junto a su equipaje, durante los tres días que duraba el viaje. La meca intelectual de París ejercía en estos años una poderosa atracción sobre viajeros jóvenes sin blanca dueños de fuerza de voluntad y talento. El poeta francés Rimbaud llegó *a pie* desde Viena, como hizo el escultor rumano Brancusi desde Bucarest. Esta era la clase de competencia que se podía encontrar si se aspiraba al éxito en la Ciudad de la Luz. Maria se matriculó en la Facultad de Ciencias de la Sorbona. Había 1.800 estudiantes, de los cuales solo 23 eran mujeres, y de estas, menos de un tercio francesas. En París la palabra *étudiante* tenía connotaciones pícaras similares a las que hoy pueda tener la palabra universitaria. Ningún padre respetable sometería a su hija a semejante humillación, sobre todo con el agravante de educarla. La mayoría de los franceses estaban de acuerdo con el escritor contemporáneo Octave Mirabeau: «La mujer no es un cerebro, es un sexo». En Polonia Maria había podido desarrollar su independencia, y no solo en la esfera intelectual. París era el regreso al hombre de *Neanderthal:* cualquier mujer en la calle de noche era automáticamente una prostituta. La luz que iluminó la Ciudad de la Luz en 1891 era meramente eléctrica.

Maria empezó como pretendía seguir. Rechazó de manera cortés pero firme la oferta de alojamiento de su hermana, fue a vivir sola a una *chambre de bonne,* la tradicional buhardilla mísera en la que los genios se morían de hambre, en el barrio Latino, cerca de la Sorbona. Después de sus clases, experimentos en el laboratorio y lecturas en la biblioteca, trepaba los seis pisos hasta su habitación de techo inclinado. Tras cenar una *ficelle* (literalmente, un «hilo», la barra más fina de pan francés) y algo de chocolate, trabajaba varias horas de la noche. Era completamente libre para dedicarse al estudio y nadie podía detenerla. En su mediana edad recordaría estos tiempos como «uno de los mejores recuerdos de mi vida». Este fue el «periodo de años solitarios dedicados exclusivamente al estudio […] que tanto había esperado». Incluso escribió un poema al respecto:

> Pero ella goza con lo que conoce
> pues en su solitaria celda halla
> aire rico en el que crece su espíritu
> inspirado por las mejores mentes.

París tenía una numerosa colonia de exiliados polacos, una virtual elite política en potencia. Quizá la mejor muestra de su calidad y de su ambiente fuera su más brillante joven miembro, Paderewski, quien habría de convertirse en un concertista de piano de renombre mundial, en primer ministro de Polonia y en amante de Greta Garbo (aunque fue solo uno más de una larga lista). Maria evitaba tales frivolidades. Las estrellas de su firmamento eran francesas y científicas. Pese al amor hacia su patria, se identificó en tal grado con su país de adopción que incluso afrancesó su nombre, cambiándolo a Marie. Francia era su oportunidad, y ella tomaría todo lo que le ofreciera. Estos fueron buenos años para la ciencia en la Sorbona. Educación y ciencia eran la religión de la Tercera República, y se estaba construyendo una nueva Sorbona con grandes aulas anfiteatro y

laboratorios modernos y bien equipados. El que fuera bastión de la escolástica europea relegó la teología a una posición periférica. La literatura también perdió rango: solo era un pasatiempo para hombres de cultura informados. La ciencia no siempre había gozado de tanto favor en Francia. A fines del siglo anterior, durante la revolucion, el gran Lavoisier, «el Newton de la química», había sido despachado en la guillotina con las palabras: «Francia no necesita científicos».

Los héroes de Marie eran los gigantes de las aulas de la Sorbona, pero como ella escribió: «La influencia de los profesores entre los estudiantes se debe a su propio amor a la ciencia más que a su autoridad. Uno de ellos decía a sus estudiantes: "no os fiéis de lo que os enseñen, sobre todo de lo que os enseñe yo"». La ciencia se movía deprisa y muchos de los profesores de Marie Curie estaban en la vanguardia de la investigación moderna.

Su profesor de química biológica era Émile Duclaux, uno de los primeros adeptos de Pasteur y de su teoría de que las enfermedades eran propagadas por los microbios. Las clases de Duclaux estaban poniendo los cimientos de un nuevo campo: la microbiología. Su profesor de física era Gabriel Lippmann, quien estaba trabajando en la invención de la fotografía en color. Pero con mucho la mejor mente con la que se cruzó fue la de Henri Poincaré, el mejor matemático de la época. Cada año era su costumbre dar conferencias originales sobre una nueva rama de la matemática aplicada. Sus conferencias de 1893 sobre la teoría de probabilidades estaban adelantadas a su tiempo. Poincaré ya estaba anticipando conceptos que luego serían parte integral de la mecánica estadística, sobre todo en lo referente al «caos» (esto es, cuando las matemáticas que describen un sistema dinámico se hacen tan complejas que sus elementos no pueden computarse ni definirse, quedando impredecibles y al azar). Aunque Marie se inclinaba sin duda por las ciencias, sus habilidades matemáticas eran de un orden casi igual de elevado. En sus exámenes finales de licenciatura fue primera en física y segunda en matemáticas.

Pero la vida de estudiante de Marie no fue siempre tan solitaria como ella nos haría creer en sus memorias. En 1893, el año en que terminó la licenciatura, se sintió atraída por un compañero de estudios francés. Se llamaba Lamotte, y lo que parece haber llamado su atención sobre él era la intensidad con la que se interesaba por la ciencia. A Marie solo le importaba la «conversación seria sobre problemas científicos». En cualquier caso, sabemos por las cartas recobradas que encontró tiempo de confiar sus aspiraciones a Lamotte. Curiosamente, sus ambiciones se limitaban al trabajo de clase. En este momento solo soñaba con regresar a Polonia, vivir con su padre y hacerse profesora. Por suerte sus profesores se enteraron de este posible desperdicio colosal. Marie estaba pasando una pequeña depresión postexámenes y estaba algo triste por la forma en que Lamotte la había dejado para ir a su casa en provincias. Su última carta acababa de forma tan poco galante como poco gala: «Recuerda siempre que tienes un amigo. *Adieu!* M. Lamotte». No está claro si esta *M* es una simple inicial –de Michel, por ejemplo– o la acostumbrada abreviatura de «*Monsieur*». De un modo o de otro, no parece una despedida muy romántica. Pero Marie recuperó los ánimos al recibir una nota

del profesor Lippmann en la que la invitaba a trabajar como ayudante en las investigaciones de su laboratorio. Hacia el final de 1893 Marie comenzó a estudiar las propiedades magnéticas del acero, una tarea ordinaria pero absorbente con la que ir haciendo boca.

A poco de comenzar el año siguiente, mientras visitaba la casa de un físico polaco, le fue presentado un hombre reservado de 35 años con barba cuidada y pelo cortado a cepillo. Marie luego recordaría: «Iniciamos una conversación que no tardó en hacerse amistosa. Empezó por ciertas cuestiones científicas». Casi de inmediato descubrieron «una sorprendente afinidad, sin duda atribuible a una cierta semejanza en el ambiente moral en el que ambos fuimos criados». Ambos eran de temperamento igualmente serio, eran desarraigados, e intelectualmente estaban a la par.

Pierre Curie era nueve años mayor que Maria Skłodowska, y ya era autor de trabajos importantes. Curie se había criado en una familia científica en la que las ideas avanzadas y la ausencia de creencias religiosas eran la norma. Desde una edad temprana Pierre había sido un «soñador» propenso a momentos de introspección contemplativa en los que parecía completamente ajeno al mundo que le rodeaba. No le fue bien en la escuela, donde fue considerado «lento». Se decidió que debía ser educado en casa. Aun así, su mente seguía «vagando», su letra era chapucera y era dado a cometer errores en la concordancia de los géneros, un proceso desconcertante para muchos extranjeros de lengua inglesa, pero que rápidamente se convierte en algo instintivo para el niño francés medio. Pero cuando Pierre concentraba su pensamiento en un solo asunto, resultaba obvio que poseía dotes intelectuales excepcionales. En un esfuerzo por salvar su educación se le animó a desarrollar esta cualidad. El patito feo se convirtió milagrosamente en cisne. A los 16 años fue a la Sorbona.

Acabada la universidad Pierre realizó trabajos experimentales con su hermano Jacques. Juntos descubrieron que ciertos cristales no conductores, como el cuarzo, desarrollaban una carga eléctrica si eran modificados. Cuando un cristal de cuarzo era sometido a presión, sus caras opuestas desarrollaban cargas opuestas. Este fenómeno lo llamaron el efecto piezoeléctrico, del griego *piezo* cuyo significado es «apretar». Invirtiendo el proceso, los hermanos Curie descubrieron que cuando un cristal de cuarzo es sometido a una carga eléctrica, la estructura de sus cristales queda deformada. Si el potencial de la carga eléctrica variaba rápidamente, las caras del cristal vibraban a gran velocidad. Este efecto se podía usar para generar ultrasonidos (sonidos cuyas frecuencias son demasiado altas para que las perciba el oído humano) y se usa hoy en día para una amplia gama de instrumentos, desde micrófonos hasta manómetros. Los propios hermanos Curie hicieron uso del efecto para construir un electrómetro altamente sensible capaz de medir cargas eléctricas minúsculas.

A la edad de 32 años Pierre Curie fue nombrado director del laboratorio de la Escuela de Física y Química Industrial de París. No era un puesto prestigioso, pero a Curie le interesaba más seguir sus propias inclinaciones experimentales que el dinero o el prestigio. Pierre Curie sentía aversión hacia cualquier clase de distracción. Creía firmemente que una esposa solo podía ser un inconveniente para un científico.

Cuando Pierre conoció a Marie estaba completando su doctorado acerca del efecto del calor sobre las propiedades magnéticas. Había descubierto que por encima de una determinada temperatura crítica toda sustancia ferromagnética (como el hierro o el níquel) perdía sus cualidades ferromagnéticas. Esta temperatura aún se conoce como el punto Curie. Marie también estaba realizando investigaciones en este campo, de lo cual se deduce inevitablemente que la pareja fue unida por el magnetismo. Se hicieron amigos enseguida. Cuando Pierre fue al ático de Marie a visitarla, quedó impresionado por la simplicidad e independencia de su estilo de vida, que prescindía de formalidades tales como una carabina. Esta era ciertamente una avanzada mujer de ciencia. Pero este no había de ser un romance locamente apasionado. Ambos valoraban su preciosa independencia, lo cual dio lugar a vacilaciones por ambas partes. Fue Pierre el que finalmente decidió coger el toro por los cuernos. Escribió a Marie preguntando «si te gustaría alquilar conmigo un apartamento con vistas a un jardín en la rue Mouffetard. El apartamento está dividido en dos partes independientes». Ninguno de los dos creía en el estilo de vida convencional, pues estaban por encima de esas cosas, pero se trataba de una actitud más intelectual que emocional. Ambos la habían adoptado con el fin de dedicar sus vidas a la ciencia, más que para crear escándalo, cosa que les parecía una pérdida de tiempo: «Se puede excusar la generosidad con todo menos con el tiempo». En su intercambo epistolar Pierre confesaba: «Estoy lejos hoy en día de los principios por los que se regía mi vida hace diez años». Ya no llevaba siempre una camisa azul «como los obreros», pero no hay mención sobre si seguía creyendo que una compañera era un mero inconveniente para un científico. Por su parte, Marie aún sentía el tirón de su tierra nativa. Había ido a Polonia por vacaciones, pero no era bastante: había llegado el momento de volver.

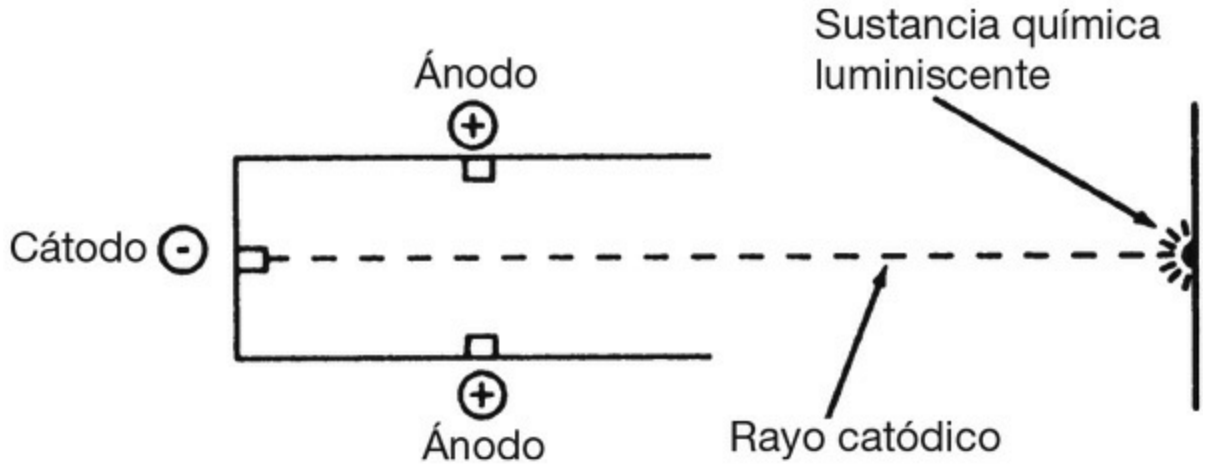
Si había algún futuro para Pierre en la vida de Marie, y viceversa, iban a tener que alcanzar un compromiso, esto estaba cada vez más claro para los dos. De modo que se casaron de paisano y en una ceremonia estrictamente civil, en un ayuntamiento de los suburbios. No hubo regalos de bodas al uso. En lugar de tapicerías, una práctica olla de vapor para hacer pudin y un reloj de cuco, la pareja compró un par de modernas y relucientes *bicyclettes* y fueron a pedalear por Bretaña en su luna de miel. Como resultado descubrieron un profundo amor por el campo y un profundo amor mutuo que habrían de durar toda la vida.

A su regreso a París, los Curie se instalaron en un piso de tres habitaciones en la rue de la Glacière en la margen izquierda. Pierre mantenía a ambos con su pequeño salario. Entretanto Marie estudiaba para su *agrégation,* el certificado superior del profesorado francés, asistía a una serie de cursos adicionales de física teórica, y hasta se las arreglaba para continuar con sus investigaciones sobre el magnetismo. Según el mito cuidadosamente cultivado en sus cartas a casa (y luego en sus memorias y en la hagiografía escrita por su hija): «No vemos a nadie […] y no nos concedemos distracciones». En realidad, solían hacer ciclismo por el campo los fines de semana, y parecen haber aprovechado las compensaciones que ofrecía la vida en la ciudad más sofisticada del mundo. Tampoco es que fueran figuras de la sociedad parisina del *fin de*

siècle: el mundo de Degas, la absenta y *les grandes horizontales,* como se conocía a las fascinantes cortesanas de categoría. Pero los recién casados parecen haber salido regularmente de noche por el barrio Latino. Asistieron a las veladas del nuevo *cinématographe* a ver hombres con chistera y mujeres con vestidos largos correteando por los bulevares. También fueron al teatro. No había conversación de librepensadores que estuviera completa sin las obligadas referencias a Ibsen o Strindberg. En cuanto a su atuendo, eso sí, siguieron fieles a sus principios ascéticos. En aquellos días todos llevaban sus mejores galas para ir al teatro, pero no los Curie. Los amigos hablaban de «asombro» al encontrarse con la pareja de científicos vestidos de forma tan ajena a la moda. No es fácil saber en qué medida esto se debe al imperante concepto parisino del gusto o a la falta del mismo de los Curie. Pese a estas ocasionales veladas de loca frivolidad, Marie fue primera en la *agrégation* de física y segunda en la de matemáticas. Luego quedó embarazada y, en septiembre de 1897, nació su primera hija, Irène.

En el hogar, Pierre y Marie se comunicaban muy bien. Compartían y discutían todo lo que les interesaba, es decir, la ciencia. Las investigaciones de Pierre, el curso de física teórica de Marie, las dificultades experimentales, problemas científicos, todo recibía la misma intensa concentración. Desde el principio, su intercambio se daba a un nivel profundo. Cada uno sentía que el otro entendía sus problemas como nadie. Incluso después del nacimiento de la niña, pasaban largas horas analizando los últimos desarrollos científicos.

Durante los primeros años del matrimonio Curie la ciencia empezó a cambiar a pasos agigantados: nacía la física del siglo XX. Las primeras señales fueron equívocamente mundanas. En el otoño de 1895 el físico experimental alemán Wilhelm Röntgen (o Roentgen) estaba repasando experimentos anteriores sobre el fenómeno de la luminiscencia. Empezó haciendo pasar una corriente eléctrica por un tubo de cristal con vacío parcial (un tubo de rayos catódicos, similar al que hoy constituye la pantalla de un televisor).



En su laboratorio oscuro de la Universidad de Würzburg, Röntgen empezó a investigar la luminiscencia inducida por los rayos catódicos sobre una serie de sustancias químicas. Para facilitar las observaciones de esta débil luminiscencia colocó el tubo de rayos catódicos dentro de una caja negra de cartón. Al enviar la corriente vio por el rabillo del ojo un resplandor en el extremo más alejado de la habitación a oscuras. Resultó ser una hoja de papel recubierta de platinocianuro bárico, una de las sustancias luminiscentes con las que había estado ensayando. Pero ¿cómo podía haberse vuelto luminiscente cuando el tubo de rayos catódicos estaba dentro de una caja? El cartón ennegrecido debería haber bloqueado los rayos catódicos. Apagó el tubo de rayos, y la luminiscencia remitió. Sin duda la causaba algo relacionado con los rayos catódicos.

Dejándose guiar por una corazonada, Röntgen llevó el pedazo de papel a la habitación contigua, bajó las persianas y cerró la puerta. Al encender el tubo el papel resplandeció de nuevo. Una radiación desconocida emanaba del tubo de rayos catódicos. No solo era invisible, sino también capaz de atravesar el cartón y otros materiales. ¿Qué clase de radiación podía ser? Los experimentos posteriores revelaron que estos rayos no parecían ser una suerte de rayos de luz invisible. No se reflejaban en ninguna superficie, ni parecían refractarse al pasar de un medio a otro, como hacen las ondas luminosas al pasar del aire al agua (en esto Röntgen se equivocaba). Como a Röntgen le desconcertaba la naturaleza de estos misteriosos rayos, los bautizó con el símbolo matemático para las cantidades desconocidas, llamándolos rayos X.

Röntgen percibió enseguida el carácter sensacional de su descubrimiento. Estos rayos eran capaces de ver *a través* de las cosas, ni Julio Verne había imaginado nada semejante. Pero sabía que el descubrimiento no permanecería exclusivamente suyo por mucho tiempo. Se estaban realizando muchas investigaciones sobre la luminiscencia, y alguien se toparía con los rayos X antes o después.

Ansioso por dejar bien sentada su prioridad, Röntgen se embarcó en una rápida pero exhaustiva investigación sobre las propiedades de estos nuevos rayos. Halló que podían atravesar el papel, la madera e incluso capas delgadas de metal. Entre otras propiedades, podían ionizar los gases y, sin embargo, no les afectaban los campos eléctricos o magnéticos. Podían ser invisibles, pero afectaban a las placas fotográficas, con lo cual se podía plasmar su paso fotográficamente.

Tras siete semanas Röntgen estaba preparado para revelar sus hallazgos. En enero de 1896 anunció su descubrimiento en una conferencia pública. El clímax de la conferencia llegó cuando invitó a subir al estrado al venerable anatomista suizo Rudolf von Kölliker, entonces octogenario. Röntgen procedió a sacar una fotografía de rayos X de la mano del anciano. Cuando se vio que esta revelaba toda la estructura ósea de los dedos y la muñeca de von Kölliker, el público se puso en pie y prorrumpió en espontáneos aplausos.

La noticia del sensacional descubrimiento de Röntgen se difundió pronto por toda Europa, y no tardó en cruzar el Atlántico y llegar a América. Los rayos X eran tan sencillos de producir que enseguida se les encontró una aplicación práctica. Solo cuatro días después de que el descubrimiento de Röntgen llegara a América, se utilizaron con

éxito para localizar una bala en la pierna de un paciente. Empezaron a circular dramáticas historias en la prensa sobre las asombrosas propiedades de los nuevos rayos. El estado de Nueva Jersey consideró incluso la aprobación de una ley que prohibiera el uso de rayos X en los gemelos de teatro, con el fin de proteger la virtud de las mujeres que acudían a la ópera. Pero nadie pensó en proteger al público de ellos, y pasarían bastantes años hasta que se descubriera que la excesiva exposición a los rayos causaba leucemia.

El descubrimiento casi accidental que realizó Röntgen el 5 de noviembre de 1895 es ahora considerado por algunos como el comienzo de la segunda revolución científica. La primera arrancó con el descubrimiento de Copérnico de que la Tierra gira alrededor del Sol, y tomó forma con el método científico de Galileo. Aunque el propio Röntgen no era consciente de ello entonces, su descubrimiento significaba que estaba terminando la era de la física clásica, la del mundo mecánico de Galileo y Newton.

En un principio se pretendió llamar rayos Röntgen a los rayos X, pero la pronunciación y ortografía correctas de su nombre planteaban cierta confusión (confusión que persiste en los diccionarios biográficos, en los que los americanos tienden a poner Roentgen). Además, la prensa encontraba mucho más atractivo el nombre de rayos X. En cualquier caso, Röntgen obtuvo un amplio reconocimiento y se le concedió el Premio Nobel de Física en 1901. Sin embargo, algunos críticos franceses y británicos poco considerados mantenían que Röntgen solo era un investigador del montón que tuvo un golpe de suerte. Otros, alemanes principalmente, le reivindicaban como uno de los mejores experimentadores de su tiempo. De un modo o de otro, hay una cualidad excepcional que no se le puede disputar: Röntgen se negó a patentar nada relacionado con su descubrimiento ya que consideraba que la producción o el uso de los rayos X debían emplearse en beneficio de la humanidad.

Su descubrimiento podía haberle supuesto enormes recompensas económicas, pero murió viejo y pobre tras perder los ahorros de toda su vida a causa de la hiperinflación alemana, en 1923 (cuando una hogaza de pan llegó a costar millones de marcos).

El siguiente paso de la nueva revolución científica llegó como resultado directo del descubrimiento de Röntgen. Lo dio el químico francés Henri Becquerel, procedente de una familia con sólidas raíces científicas. Su abuelo luchó en la batalla de Waterloo, y se convirtió luego en el pionero de la electroquímica. Su padre siguió sus pasos en este campo y estudió la fluorescencia y la fosforescencia. Estos fenómenos ocurren cuando la materia absorbe luz en cierta longitud de onda y la emite en otra. (Quizá el mejor ejemplo de ello se da cuando la invisible luz ultravioleta alcanza a diferentes minerales haciendo que resplandezcan con colores diferentes.)

Cuando Becquerel supo del descubrimiento de los rayos X por Röntgen, recordó los experimentos de su padre relacionados con la fluorescencia. Röntgen había detectado los rayos X gracias al efecto fluorescente que tenían sobre el platinocianuro bárico. Esto indujo a Becquerel a preguntarse si no habría algún material fluorescente que produjera por sí mismo rayos X.

A comienzos de 1896 Becquerel empezó a experimentar con una sal doble de uranio

(sulfato de uranilo potásico), que sabía que era muy fluorescente gracias a anteriores experimentos. Puso un cristal de esta sal sobre una placa fotográfica envuelta en papel negro, y la expuso a la luz solar. Sabía que la luz solar provocaría fluorescencia, y que si esta contenía rayos X, atravesarían el papel negro y quedarían registrados sobre la placa fotográfica. Esto es justo lo que ocurrió. Cuando Becquerel desenvolvió la placa y la reveló, vio una débil mancha blanca y neblinosa alrededor del lugar donde había colocado el cristal. Solo había una conclusión posible: ¡la fluorescencia producía rayos X!

Era un invierno gris en París, y eran pocos y dispersos los días soleados en los que podía continuar con sus experimentos. Impaciente, Becquerel ocupaba su tiempo preparando nuevas placas fotográficas envueltas en papel negro y colocando un cristal encima. Las guardó cuidadosamente en un cajón oscuro. Pero el sol seguía sin salir.

Incapaz ya de esperar más tiempo, Becquerel decidió echar un vistazo a un par de placas, solo por ver si los cristales habían emitido quizá algún débil rastro de luminiscencia. Le esperaba una sorpresa. Al revelar la primera placa descubrió una intensa neblina blanca alrededor de donde había estado el cristal. Esto quería decir que la radiación emitida por la sal no requería luz solar. Tampoco requería ningún tipo de fluorescencia visible, pues el cristal no había estado resplandeciendo en la oscuridad.

Becquerel se puso de inmediato a estudiar esta radiación inesperada. Para su sorpresa descubrió que no parecía igual que la de los rayos X. ¿Se trataba de un tipo enteramente nuevo de radiación? Al igual que los rayos X, era invisible y capaz de ionizar los gases (al dejar una carga eléctrica en el aire por el que pasaba), pero su capacidad de atravesar la materia era muy superior a la de los rayos X. Además advirtió un efecto mucho más curioso. *El cristal de sulfato de uranilo potásico* emitía un flujo constante de esta radiación, que no dependía de la exposición a la luz. Simplemente, radiaba de forma constante en todas direcciones.

En este punto se detuvieron las investigaciones de Becquerel. Todos estos fenómenos eran muy interesantes, pero no parecían conducir a ninguna parte. Becquerel era un experimentador, y no era dado a grandes saltos de la imaginación en el campo de la teoría, aunque irónicamente, su comprensión de este nuevo tipo de radiación se veía fatalmente obstaculizada por las preconcepciones teóricas heredadas de su padre. Aunque pareciera que la radiación no estaba causada por la luz solar, siguió convencido de que había «algún tipo de fluorescencia invisible». ¿Qué otra cosa podía ser? La radiación no podía simplemente emanar sin cesar de los cristales sin una fuente de alimentación. ¿Podía esta acumularse de algún modo por el cristal a lo largo de cierto periodo de tiempo?

El enfoque de Becquerel era el correcto de acuerdo con las leyes de la física clásica. Desde hacía más de 2.000 años, desde la antigua Grecia, los científicos se habían atenido a una interpretación literal del dicho atribuido a Epicuro: *«Nihil ex nihilo fit»* («Nada surge de la nada»). Pero la ciencia estaba cambiando. Becquerel había realizado un descubrimiento muy importante, pero no era una nueva forma de fluorescencia. ¿Qué era entonces?

Marie Curie había seguido los hallazgos de Röntgen y Becquerel con gran interés y los había discutido, como siempre, con Pierre. Había terminado ya su investigación sobre el magnetismo, y buscaba un tema apropiado para su tesis doctoral. El callejón sin salida al que había llegado Becquerel en sus experimentos ofrecía un reto emocionante. Marie decidió estudiar el nuevo tipo de radiación.

Marie Curie terminó su labor como miembro del equipo investigador de Lippmann y, por lo tanto, su acceso a los nuevos laboratorios de la Sorbona y a sus modernos materiales. Pierre consiguió permiso para que pudiera utilizar cierto espacio dedicado a almacén en sus laboratorios de la Escuela de Física y Química Industrial. Era poco más que un rincón triste y frío y tuvo que acondicionarlo improvisadamente desde cero, pero aquí Marie Curie encontró algo que nunca habría podido obtener de los laboratorios de la Sorbona: completa autonomía. Podía guiar sus investigaciones en la dirección que quisiera.

Según sus apuntes de laboratorio, Marie comenzó sus experimentos el 16 de diciembre de 1897. Empezó estudiando la radiación emitida por el sulfato de uranilo potásico, repitiendo el experimento de Becquerel. Para referirse a la radiación en sus cuadernos acuñó el término «radiactividad». De acuerdo con Becquerel, Curie confirmó que la radiactividad «electrifica» el aire por el que pasa. El aire se ionizaba, haciéndose así conductor de electricidad. A medida que incrementaba la radiactividad, incrementaba la ionización. Aún así, las cantidades a medir eran minúsculas, del orden de 50×10^{-12} amperios. Esto requería un instrumento de medición de extrema sensibilidad.

A tal fin Marie Curie hizo uso del efecto piezoeléctrico descubierto por Pierre Curie y su hermano Jacques, poco más de una década antes. Dado que un cristal bajo presión emite una minúscula carga eléctrica, aprovechó esta para contrarrestar la minúscula carga opuesta del aire por el que pasaban los rayos radiactivos, con lo que obtenía una lectura de carga eléctrica 0. Cuanto mayor era la presión sobre el cristal requerida para contrarrestar el efecto eléctrico en el aire radiactivo, mayor era la radiactividad.

Marie Curie procedió a estudiar diversos compuestos del uranio, desde la pechblenda a ciertas sales de uranio. La pechblenda, una forma mineral marrón y negra del óxido de uranio, resultó ser muy radiactiva, dando una lectura de 83×10^{-12} amperios. En cambio, algunas sales de uranio registraban solo $0{,}3 \times 10^{-12}$ amperios. En el curso de estos experimentos Marie Curie realizó un descubrimiento importante. No parecía importar que el compuesto fuera calentado, disuelto o pulverizado. Solo una cosa afectaba a la cantidad de radiactividad: la cantidad de uranio presente. La fuente de la radiactividad no estaba en los compuestos del uranio, era una propiedad de los propios átomos del mismo.

¿Pero era exclusiva del uranio esta propiedad? Marie Curie emprendió algunos experimentos con átomos de similar peso atómico. El óxido tórico producía una ionización que requería una carga piezoeléctrica de 53×10^{-12} amperios para neutralizarla. Esta propiedad no era exclusiva del uranio: el torio también era radiactivo.

Estos no fueron los únicos descubrimientos importantes de Marie Curie. «Dos minerales de uranio», explica en su informe, «son mucho más activos que el propio uranio, lo cual hace suponer que pueden contener un elemento aún más activo que el

propio uranio». Por ejemplo, el mineral de uranio procedente de la pechblenda alcanzaba un registro cuatro veces mayor de lo que se cabría esperar de la cantidad de uranio que contenía. No parecía haber forma de explicarlo, a no ser que la pechblenda contuviera otro elemento radiactivo. Pero este tendría que estar presente en cantidades minúsculas, ya que de lo contrario ya se habría detectado. Además, tendría que ser *extremadamente* radiactivo, a juzgar por lo elevados que resultaban los registros de radiactividad en su conjunto. Como no se había encontrado ningún otro elemento que contuviera niveles de radiación similares, era probable que este fuera un elemento hasta entonces desconocido.

El audaz razonamiento científico de Marie Curie parecía conducir hacia un descubrimiento de envergadura. Como de costumbre, Marie y Pierre habían intercambiado puntos de vista durante sus tardes hogareñas sobre el progreso de sus respectivos trabajos, contribuyendo así cada uno al del otro. Pierre advirtió que el trabajo de su esposa estaba entrando en un terreno de relevancia mayor, por lo cual decidió abandonar el suyo y unirse al de ella. Según la leyenda, Pierre se sabía un científico brillante, pero se dio cuenta de que su mujer estaba a punto de convertirse en una de las grandes figuras de todos los tiempos, y resultaba obvio quién era la figura principal en la asociación Curie. Como veremos, tales versiones parciales son muy discutibles. De hecho, eran dos grandes científicos trabajando juntos. Ya habían establecido una relación admirable en el terreno profesional y en el emocional (ámbitos que no estaban en absoluto separados) luego la decisión de Pierre de abandonar sus propias investigaciones y unir su suerte a la de Marie no fue tan drástica como podría parecer a primera vista.

Otro punto que merece consideración es que durante este periodo de intensa labor investigadora, Marie Curie estaba ocupada también con la crianza de su pequeña hija Irène, nacida solo tres meses antes de que realizara su primera anotación en el cuaderno que utilizó en los laboratorios de Pierre. Marie contrató a una doncella para ayudarla a cuidar de Irène, pero se dice que nunca dejó de encargarse de bañarla cada noche. Esto bien podría ser también parte de la leyenda. Por otra parte, nos consta que Marie e Irène Curie llegarían a ser quizá la mejor pareja científica de madre e hija conocida por la ciencia. Los cimientos psicológicos de la relación debieron asentarse en los primeros cinco años de la vida de Irène, periodo en el que Marie Curie investigó con mayor intensidad. Todo esto hace que sus logros sean aún más admirables. Quizá tuviera una personalidad intensa y muy centrada en un ámbito concreto, pero también alcanzó un gran equilibrio. No era ningún genio perdido en su pequeño mundo. La suya fue una mente que funcionó al más alto nivel en un ambiente de pañales y llantos de madrugada. (Curiosamente, solo unos pocos años después, Einstein realizó su mejor trabajo en condiciones similares, pero siendo un hombre de su tiempo, no es probable que tuviera que intervenir tan directamente como Marie Curie en cuestiones de caquitas y berreos.)

Juntos ahora, Marie y Pierre Curie emprendieron la difícil tarea de intentar descubrir el elemento desconocido de la pechblenda. Primero había que aislar el elemento, presente en cantidades minúsculas. Esto suponía refinar el mineral por medio de tratamientos químicos y repetidas destilaciones hasta conseguir una muestra del elemento. Pero resultó imposible aislarlo del bismuto, casi idéntico, que había en el

mineral. A la altura del mes de julio de 1898 habían obtenido unas motas de polvo de bismuto que contenían el nuevo elemento. En las palabras del informe conjunto de los Curie, este polvo contenía «un metal aún sin determinar, similar al bismuto», y añadían: «Proponemos llamarlo polonio, por el nombre del país de uno de nosotros».

Entre los nombres de los elementos, los hay que proceden de individuos, de planetas, y hasta hay uno nombrado en honor de un perro (einstenio, uranio, plutonio). Polonia es de los pocos países que han merecido esta distinción, más aún, en un momento de necesidad en el que su nombre corría peligro de ser borrado del mapa. Aunque Marie Curie emigrara a Francia y se casara con un francés, sería una patriota toda su vida, sin perder su identidad polaca. Hablaba el francés fluidamente, pero con un inconfundible acento polaco.

El descubrimiento del polonio fue anunciado por los Curie en un documento conjunto titulado *Sobre una nueva sustancia radiactiva contenida en la pechblenda.* Fue la primera aparición del término «radiactivo». Hallaron que el polonio era 400 veces más radiactivo que el uranio. Pero ni siquiera este elevado nivel explicaba el grado de radiación detectado en la pechblenda. Todo parecía indicar la presencia de otro elemento altamente radiactivo. De nuevo se pusieron a buscar la aguja en el pajar. Esta vez consiguieron aislar un elemento desconocido en unas motas de polvo de bario, y pudieron declarar: «Hemos encontrado una segunda sustancia radiactiva, completamente diferente de la primera en sus propiedades químicas». Este elemento solo podía diferenciarse del bario por su elevada radiactividad.

Con el fin de aclarar las cosas solicitaron la ayuda del químico Eugene Demarçay, experto en el nuevo campo de la espectroscopia. (Esta requiere el uso de un espectroscopio, que convierte en espectro la luz emitida por una sustancia. Cada sustancia tiene su espectro característico, cuyas líneas indican sus propiedades químicas.) Pese a perder un ojo en un accidente de laboratorio, Demarçay había alcanzado una gran destreza en la lectura de los complejos patrones de las líneas de los espectros. Con todo, ni siquiera él fue capaz al principio de identificar alguna línea espectral nueva en la pequeña muestra de bario en la que los Curie decían que estaba su segundo nuevo elemento. Pero sabían que estaba ahí, por su alta radiactividad. Evidentemente, sus líneas eran casi idénticas a las del bario. Tras repetidos intentos, Demarçay pudo detectar por fin, entre las líneas del bario, unas pocas líneas similares pero indiscutiblemente nuevas. Ciertamente, los Curie habían descubierto un nuevo elemento altamente radiactivo, al que llamaron «radio».

Los Curie estaban decididos a examinar las propiedades de este extraordinario nuevo elemento, que aparentemente emitía un flujo continuo e intenso de energía sin menguar. Pero para examinar el radio, iban a necesitar una gran cantidad de pechblenda. Solo si empezaban con cantidades industriales de este mineral serían capaces de producir radio en cantidades suficientes para determinar su peso atómico y analizarlo. Pero ¿dónde podían encontrar pechblenda suficiente? Los Curie hicieron sus averiguaciones y descubrieron una mina en San Joachimsthal, Bohemia (entonces parte del Imperio austrohúngaro, hoy en la República Checa). La mina producía plata y uranio, pero la

escoria resultante de la extracción de estos minerales contenía pechblenda. La mina estaba rodeada de montones de escoria mineral con rastros ocultos de radio. A los dueños de la mina les encantó la idea de librarse de aquella porquería inútil y dársela a un par de científicos locos de Francia. Con tal de que los Curie estuvieran dispuestos a correr con los gastos del transporte, podían llevarse toda la que quisieran.

(Casualmente, esta mina volvería a desempeñar un papel significativo en la historia de la ciencia unos 40 años después. Cuando Hitler ocupó Checoslovaquia en 1938, se estableció una lista de sustancias cuya exportación quedaba prohibida. Escondido discretamente en un apartado de la lista, estaba el uranio de las minas bohemias. Cuando el científico danés Niels Bohr se enteró de ello, supo que los nazis habían iniciado en serio sus investigaciones para fabricar la bomba atómica. Advirtió a los americanos, que de inmediato emprendieron el proceso que culminaría con la fabricación de la primera bomba nuclear.)

Para transportar la pechblenda desde las minas de San Joachimsthal hasta París, los Curie se vieron obligados a echar mano de sus escasos ahorros. Pero ¿dónde podían encontrar espacio suficiente para procesar tal cantidad de mineral? Esta vez Pierre Curie consiguió permiso para que él y su esposa pudieran ocupar una gran nave en desuso en los terrenos de la Escuela de Física y Química Industrial.

La nave había sido en tiempos una sala de disección, pero ahora había goteras en el sucio tejado de vidrio, y grietas en el suelo de cemento. El lugar estaba helado en invierno y era sofocante en verano. En palabras de un colega, era «un cruce entre un establo y un almacén de patatas».

Allí inició Marie Curie la tarea colosal de reducir montañas de desecho de pechblenda a motas de polvo de radio. Anotaba meticulosamente en su cuaderno de notas de laboratorio los resultados de cada fase del proceso. Pero estas columnas de cifras no son el mero registro árido de un proceso largo y laborioso. Los logros suelen estar señalados con una ristra de extasiados signos de exclamación: «14 de Marzo. Precipitado en cilindro ¡¡¡¡¡¡¡¡¡4,3!!!!!!!!!». Estas anotaciones dan vida a los cuadernos, dejando entrever el elemento humano. Esta era una mujer brillante, apasionadamente entregada a una labor que amaba. Tales momentos eran para ella puro deleite.

Pero no era esta su única labor de tal naturaleza, ni ese su único cuaderno. En casa tenía otro, lleno de observaciones científicas de otra índole. En él anotaba los progresos de su hija Irène. Con la debida solemnidad registraba regularmente su peso y longitud. Hasta medía el diámetro de su cabeza con ayuda de unas tenazas. Cada nueva fase del experimento estaba redactado de modo ejemplarmente científico. Gracias a eso sabemos que en julio de 1898 Irène dijo: «gogli gogli go», que el «15 de agosto […] a Irène le ha salido el séptimo diente» o que «5 de enero de 1899: ¡Irène ya tiene quince dientes!».

Desde luego, Marie Curie parece haber tenido una especie de manía por los cuadernos. Los de casa dan fe de una gran variedad de actividades familiares de los Curie, entre ellas, una receta de confitura de grosella, la primera redacción de una carta a la Academia de Ciencias (en la que informa a la institución del descubrimiento del radio), una anotación sobre Irène cantando y una larga y meticulosa lista de cuentas de la

casa. Por estas sabemos cosas como el precio de la tela para una camisa de Pierre, el precio del transporte por ferrocarril de un cargamento de pechblenda desde San Joachimsthal y el sueldo de la doncella-canguro.

El salario de Pierre como director de los laboratorios de la Escuela de Física y Química Industrial no era elevado, y los Curie tuvieron que esforzarse por llegar a fin de mes durante al menos los cinco primeros años de su matrimonio. Aun así, su situación no era tan apurada como dice la leyenda. Los Curie trabajaban duro durante largas horas en su nave-laboratorio, y en casa no se permitían lujos, pero aun podían ir a pedalear por el campo durante los fines de semana soleados, mientras la familia de Pierre se ocupaba de Irène. Y, como todos los que podían, solían escaparse de las calurosas y hediondas calles de París en verano, época de las pulgas, para pasar unas largas vacaciones en el campo, donde la vida era tan barata como idílica. En 1898 hay una laguna de tres meses en el cuaderno de notas de laboratorio de Marie Curie. Responde a la *grande vacance* que los Curie pasaron en Auvernia. Allí el vino es abundante como el agua, el queso de cabra no tiene parangón, y los ríos serpentean a través de apartados valles de montaña, donde hay pozas naturales de roca que reúnen las condiciones necesarias de seguridad para bañarse con una niña cuyo cráneo mide exactamente 12,4 centímetros. (Justo antes de estas vacaciones precisamente, los Curie habían descubierto el polonio. A su regreso descubrieron el radio. Para muchos, «apuros» de esta naturaleza son cosa de ensueño.)

Pese a los ocasionales brotes de signos de exclamación en el cuaderno de notas de laboratorio de Marie Curie, la tarea de extraer montoncitos de radio de montañas de pechblenda no era cosa fácil. El método que desarrolló era largo, tedioso y agotador. De hecho estaba realizando un proceso industrial improvisado y prácticamente en solitario. (El proceso inventado por Marie Curie, por cierto, sería el mismo que luego emplearía la industria.) La escoria de pechblenda llegaba de la mina en bolsas de polvo marrón mezclado con agujas de pino (los montones de los alrededores de la mina estaban en bosques de pino). La disolvía en una solución de cloro en la que el bario portador de radio se precipitaba en forma de cloruro, forma en la que podía extraerse por filtración. El cloruro de radio es ligeramente menos soluble que el cloruro de bario. Posteriormente, los cloruros mezclados eran sometidos a sucesivas cristalizaciones, cada una de las cuales daba una concentración algo más rica en radio.

«Tenía que trabajar con hasta 20 kilogramos de material cada vez», escribió, «así que el hangar estaba lleno de grandes recipientes llenos de precipitados y líquidos. Era agotador mover los contenedores de aquí para allá para transferir los líquidos, y remover durante horas cada vez con una barra de hierro la sustancia hirviente en el recipiente de hierro fundido». El proceso de cristalización fraccional, por otra parte, era un trabajo sutil. «Las delicadísimas operaciones de las últimas cristalizaciones eran extremadamente difíciles de realizar en el laboratorio, donde era imposible protegerse del polvo de hierro y de carbón.»

Pese a todo, estos largos días de trabajo en el «hangar» junto a Pierre fueron un tiempo de entrega y felicidad. «Eramos muy felices a pesar de las difíciles condiciones en las que trabajábamos.» Tomaban un «sencillo almuerzo de estudiante» entre los

aparatos. «Reinaba una gran tranquilidad en nuestro hangar zarrapastroso; a veces, mientras observábamos una operación, andábamos de aquí para allá hablando de nuestro trabajo presente y futuro. Si teníamos frío, una taza de té caliente, tomada junto al horno, nos animaba. Vivíamos absortos, como en un sueño.»

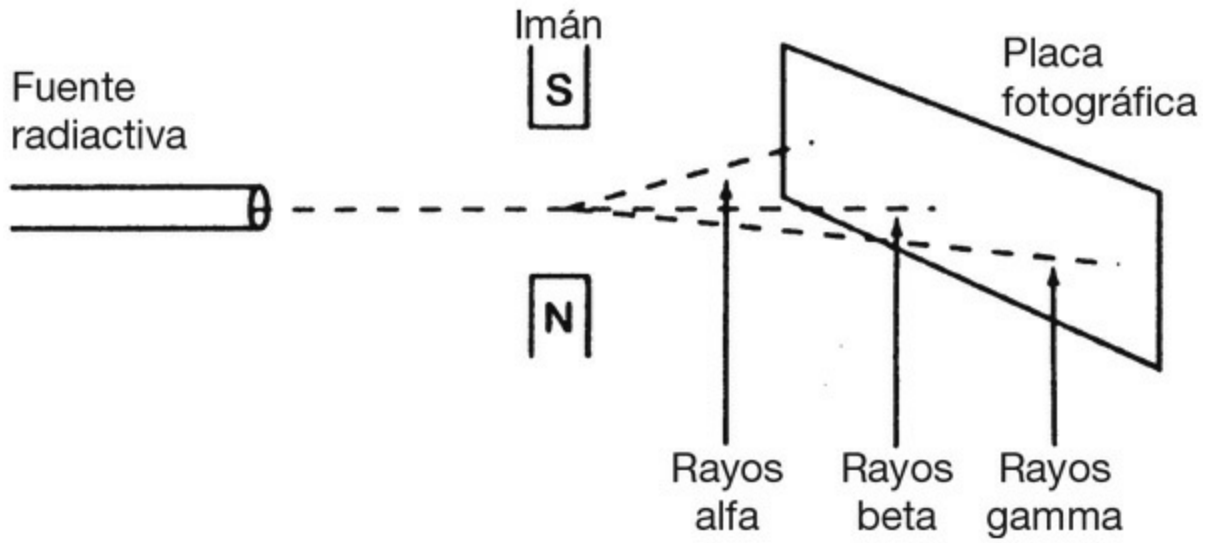
La asociación de los Curie era tan estrecha que a menudo es imposible separar sus respectivos papeles. Quizá el reflejo más preciso de quién hacía exactamente qué esté registrado en los cuadernos del laboratorio. Estos indican que en el momento de descubrir el radio (y el polonio) sus papeles eran prácticamente intercambiables. Los trazos de la cuidada letra de Marie están entremezclados con la letra de Pierre, que parece el rastro de una araña empapada en tinta. Tras el descubrimiento de los dos nuevos elementos siguieron trabajando codo con codo, pero en tareas diferentes. Marie hacía de químico extrayendo el radio, mientras Pierre usaba la física para investigar la naturaleza de su radiactividad. Aun así, como veremos, incluso en ese momento, sus papeles tampoco estaban del todo separados.

Cualquier intento de establecer toscas generalizaciones psicológicas sobre la asociación de los Curie está fuera de lugar. Es cierto que en este punto Pierre asumió el trabajo abstracto, más «masculino», y que Marie se ocupó en la tarea más práctica de preparar radio en su especie de cocina infernal, pero tales estereotipos sexistas son inevitablemente superficiales cuando se trata de los Curie.

Antes de esta división de papeles entre el señor Radiactividad y la señora Radio, las cosas habían sido muy distintas. Marie había demostrado ser superior a Pierre en matemáticas, y el delicado instrumento de cuarzo para medir la piezoelectricidad que había inventado Pierre había demostrado sus brillantes aptitudes prácticas. Una vez que Marie emprendió el aislamiento del radio con decidido empeño, no era probable que Pierre se ensuciara las manos removiendo borboteantes calderos y recipientes de hierro fundido, pero aunque él interviniera poco o nada en las actividades de Marie, con toda seguridad no sucedía lo mismo a la inversa.

Después de dar a la pequeña Irène su baño diario, pesarla, medirla y acostarla, los Curie seguían compartiendo sus veladas y, como siempre, el absorbente tema de conversación era su trabajo. (No es de extrañar que fueran pocos los visitantes a la casa escuetamente amueblada de los Curie.) No hay gran cosa que comentar acerca del trabajo diario de Marie («depósito cristalino ¡¡¡¡¡¡¡3,2!!!!!!!!»). Por otra parte, el trabajo de Pierre era justo el tipo de asunto que estaban acostumbrados a discutir juntos, como iguales, haciendo cada uno aportaciones vitales.

En el curso de este trabajo Pierre (y Marie) Curie realizaron avances importantes en el umbral mismo del conocimiento científico. Pierre realizó un experimento en el que la radiación radiactiva atravesaba un campo magnético. Halló que se separaba en tres tipos diferentes de rayos: rayos alfa, beta y gamma, como dieron en llamarse.



A la vez que Pierre Curie hacía este descubrimiento, lo hacían Becquerel y el científico de origen neozelandés Ernest Rutherford (que fue quien dio nombre a los rayos). Fue Pierre Curie el que descubrió que los rayos beta tenían una carga negativa, mientras que Rutherford estableció que los rayos alfa eran positivos y los gamma, neutros.

Como vemos, el trabajo que los Curie realizaban por separado, pero juntos, encontraba eco en el que Rutherford y otros hacían también por separado, pero juntos. Todos los implicados en esta labor sentían que era de la mayor importancia, pero ninguno comprendía del todo el significado de estos portentosos descubrimientos. Eso solo se averiguaría con el tiempo, con perspectiva histórica.

En este periodo Pierre descubrió también que existía la «radiactividad inducida». Cuando una sustancia altamente radiactiva, como el radio, entraba en contacto con otra no radiactiva, esta última parecía adquirir dicha radiación inducida. El equipo que utilizó en sus experimentos con el radio siguió siendo radiactivo mucho después de que finalizara el experimento y se retirara el radio.

Pierre empezó a comparar notas con Becquerel, al que había conocido hacía ya algunos años. Becquerel había superado ya su *impasse* tras el descubrimiento de la radiactividad, y estaba realizando considerables progresos experimentales. Había notado que cuando llevaba incluso la más pequeña cantidad de material radioactivo en el bolsillo, le producía una quemadura en la piel. Pierre empleó una muestra minúscula del radio de Marie con el mismo resultado. Entonces realizó otros experimentos, y descubrió que un gramo de radio desprendía 140 calorías por hora –¡suficiente para llevar el agua al punto de ebullición! No solo era el radio una potente fuente de energía, sino que las implicaciones de esta energía eran sensacionales. En palabras del informe de los Curie: «Cada átomo de un cuerpo radiactivo funciona como una fuente constante de energía […] lo cual implica una revisión del principio de conservación». (Cuando la noticia se hizo pública unos años después, los titulares de prensa decían: «¡Curie descubre el

movimiento perpetuo!» Por lo que respecta a la ciencia, tenían razón.)

Nadie sabía qué sucedía. Nadie conocía la causa de todo esto, ni tampoco los efectos. Y, por ello, habría de tener consecuencias desastrosas. Los experimentos con radio de Pierre Curie sobre su piel le produjeron quemaduras radiactivas. La «radiactividad inducida» que había descubierto en sus aparatos era la misma contaminación radiactiva que hoy tanto tememos. Como ocurriría con los rayos X, pasarían algunos años antes de que alguien percibiera los peligros de la radiactividad. Durante los cuatro largos años en los que Pierre y Marie Curie trabajaron con el radio en su «hangar» de la rue Lhomond, ninguno de ellos pensó en usar protección alguna contra la radiactividad. Basta con el hecho de que los famosos cuadernos del laboratorio de Marie Curie siguen siendo demasiado peligrosos de manejar *hasta hoy,* para comprobar que es cierto... En cualquier caso, no parecía que Marie notara efecto alguno por entonces, aunque no sería así por mucho tiempo.

La radiactividad estaba guiando a la ciencia hacia una nueva era. La física clásica, representada por Newton, consideraba que el universo funcionaba de un modo esencialmente mecánico. La idea de la materia era lo vital para esta visión del mundo. Demócrito, el filósofo de la antigua Grecia, planteó la idea de que la materia se componía en última instancia de pequeños «átomos» indestructibles (que es lo que significa la palabra en griego). Pero esta postura materialista resultó demasiado avanzada para el siglo V a.C., y fue rechazada por filósofos tan eminentes como Platón y Aristóteles, con lo cual quedó relegada al olvido durante más de 2.000 años. Pero la verdad termina por salir a relucir. En el siglo XVII volvería a escena, un largo tiempo esperada, la idea del átomo, idéntica a la de Demócrito. Cuando se introdujo por primera vez en el ámbito de la física clásica no se empleó la palabra «átomo». Newton optó por describir estos átomos con todo lujo de detalles, omitiendo la palabra, como «partículas en movimiento impenetrables, sólidas, con masa […] tan duras que nunca se desgastan ni se rompen». Tales átomos parecían comportarse como diminutas bolas de billar.

A fines del siglo XIX, cuando los Curie estaban investigando la radiactividad, este concepto estaba bien asentado. Sin embargo, había una escuela de pensamiento científico (y filosófico) plausible que había comenzado a cuestionar la existencia misma de los átomos. Según esta, la ciencia progresaba gracias al pensamiento práctico respaldado por datos experimentales. El físico teórico vienés Ernst Mach, que compartía este pensamiento tan rigurosamente empírico, creía que en última instancia todo conocimiento se deriva de los datos de la percepción sensorial. La ciencia era experiencia refinada, y nada más. A su modo de ver, la ciencia había heredado un cierto bagaje histórico que no respondía a estas exigencias, entre ellas la idea del átomo. ¿Quién había visto un átomo? La ciencia no necesitaba creer en pequeñas bolitas de billar invisibles (e indestructibles, verdaderamente) para explicar los acontecimientos de la realidad. Era solo una idea que la ciencia había heredado del anterior pensamiento acientífico.

La mayoría de los científicos contemporáneos aceptaban la postura de Mach no sin reservas. La ciencia era algo más que una mera recolección de datos experimentales, y

siempre necesitaría respaldarse con ideas de algún tipo. El hecho es que los átomos respondían a esa otra gran noción científica que reza así: si funciona, úsalo. Las ideas también pueden producir resultados, que, obviamente, pueden ponerse a prueba por medio de experimentos. Los átomos parecían funcionar como explicación de la naturaleza última de la materia. Fueron útiles para el ulterior desarrollo del pensamiento, en los campos de la física y la química. El empleo de este concepto había contribuido al descubrimiento de algunas cosas y había facilitado el desarrollo de algunas teorías útiles, y demás. Por ejemplo, en 1871 el químico de origen siberiano Dimitri Mendeleyev prácticamente reinventó la química al publicar su Tabla Periódica de Elementos. En ella se enumeraban todos los elementos químicos según su peso atómico y valencia –capacidad de combinarse con otros elementos– (el hecho de que jamás hubiera visto un átomo no pareció preocuparle demasiado).

Pero fue el cuestionamiento de los átomos por parte de Mach lo que produjo la primera grieta en el concepto del átomo, como si de una bola de billar se tratara. A la vez que los Curie investigaban la radiactividad en París, el físico Rutherford y el excéntrico químico Soddy hacían lo mismo al otro lado del Atlántico, en Canadá. El neozelandés Rutherford, con su carácter franco, se complementaba bien con Soddy, cuyo pasatiempo favorito era predicar una nueva economía mundial en la que se aboliría el dinero. Su breve asociación produciría un avance de envergadura. El enfoque de Rutherford y Soddy tenía un carácter más teórico que el de los Curie. En 1902 publicaron un documento titulado *Causa y naturaleza de la radiactividad,* en el que hacían hincapié en una diferencia esencial entre los rayos X y la radiactividad, que tan similares habían parecido hasta entonces. Los rayos X se producían al bombardear una sustancia, mientras que la radiactividad se daba de modo espontáneo. Rutherford y Soddy decidieron que la radiactividad era sin duda un fenómeno atómico. Parecía ser una forma de descomposición atómica, en la que ciertos átomos pesados e inestables se desintegraban para convertirse en átomos más ligeros y estables. Su famosa conclusión sobre la radiactividad era que «estos cambios deben tener lugar dentro del átomo». La sólida bola de billar se hizo añicos. La era de la física clásica dejaba paso a la nueva era de la física nuclear (que se ocupa del núcleo del átomo, es decir, de las partículas subatómicas). Rutherford y Soddy planteaban la idea radical de que los átomos podían cambiar. Los Curie habían mostrado que la radiactividad era una fuente de energía colosal y aparentemente constante (en esto último estaban algo equivocados), pero nadie sabía aun qué ocurría realmente.

El primer paso en esta dirección habría de llegar un par de años después. Un oscuro físico aficionado suizo que trabajaba en la Oficina de Patentes de Berna, apareció con una idea literalmente demoledora bajo el brazo. En 1905 Einstein publicó su escrito sobre la teoría de la relatividad, con unas características muy especiales. Esto le llevó a derivar la fórmula más famosa desde el teorema de Pitágoras:

$$e = mc^2$$

En otras palabras, una cantidad diminuta de materia *(m)* podía convertirse en una cantidad colosal de energía *(e);* la constante *(c)* era nada menos que la velocidad de la luz… ¡unos 300.000.000 de metros por segundo! Ahora sabemos que esto es lo que produce la radiactividad. Los descubrimientos de Becquerel y los Curie conducirían un día a la energía nuclear (y a las bombas atómicas).

A principios de 1902 Marie Curie había conseguido por fin obtener algo de radio. Esto había requerido procesar más de una tonelada de pechblenda de desecho en tandas de 20 kilogramos. Había sido necesario repetir el proceso de cristalización y recristalización muchos miles de veces para conseguir producir una décima parte de gramo de radio (a medida que avanzaba la operación, las ristras de signos de exclamación en sus cuadernos de notas fueron disminuyendo gradualmente, para aparecer de nuevo solo al final, en gran cantidad). Esta minúscula cantidad fue suficiente para que Demarçay identificara el espectro del radio y se pudiera determinar su peso atómico, despejando así cualquier resto de duda de que el radio fuera realmente un elemento. Con el tiempo Marie Curie procesaría casi diez toneladas de pechblenda de desecho en su hangar, de la que pudo extraer un gramo entero de radio.

Pese a todo este inmenso esfuerzo, y a las grandes posibilidades comerciales del radio, Marie Curie se negó a patentar su método para producirlo a partir de la pechblenda. Haciendo caso omiso de su pobreza, los Curie habían convenido en que los beneficios del radio quedaran a disposición de todo el mundo. Tal patente podía haberle reportado una riqueza incalculable. Las cualidades excepcionales de Marie no se limitaban al ámbito científico. Lástima que sus biógrafos posteriores insistieran en inventar algunas más (y en ignorar algún que otro defecto), hasta el punto de que la leyenda eclipsó más o menos al ser humano. Como veremos, Marie Curie no era ninguna figura legendaria: siempre fue esencialmente humana.

Para el año 1903 Marie Curie había descrito su heroico acto de realizar todo un proceso de producción industrial ella sola. (Tuvo ayudantes de laboratorio, y consultaba con personas como Becquerel y Demarçay los asuntos relacionados con sus respectivos campos, pero la mayor parte del trabajo lo hizo una madre de 33 años que insistía en bañar a su hija cada noche, y a la que nada le gustaba más que resolver después de cenar algunos de los problemas teóricos a los que se enfrentaba su marido.)

La tesis doctoral de Marie Curie constituyó el primer título superior de investigación concedido en Francia a una mujer en cualquier campo. Sus excepcionales méritos fueron rápidamente reconocidos en todo el mundo. Más tarde, ese mismo año, Marie y Pierre Curie, junto con Becquerel, recibieron el Premio Nobel de Física.

Irónicamente, la actividad de Marie Curie se había desarrollado en el área de la química. Estas clasificaciones imperfectas no son tan raras como uno esperaría de una institución intelectual tan augusta como el comité de los premios Nobel, respaldado por una red mundial de asesores expertos. Quizá el error más notorio fue en beneficio de Henry Kissinger, secretario de Estado de Estados Unidos durante la Guerra de Vietnam, que recibió el Nobel de la Paz (aunque, por otra parte, cuando Winston Churchill solicitó el mismo premio, el comité decidió que debía establecer unos límites y optaron por darle

el de literatura).

Ni Pierre ni Marie pudieron asistir a la ceremonia de entrega de premios que ofrecía el rey de Suecia en Estocolmo. Pierre había conseguido recientemente algunas clases en la universidad, lo que suponía una aportación vital para los ingresos familiares, y decidió que no tenía tiempo de ir a recoger un Premio Nobel. Marie, por su parte, estaba algo enferma, y no tenía intención de dejar a su hija en manos de alguien que no supiera bañarla como es debido, por no decir medir su diámetro craneal. Es casi seguro que esta vez las dolencias de Marie eran los primeros síntomas del efecto de la radiación.

La concesión del Nobel a los Curie cautivó la imaginación pública («Equipo compuesto por marido y mujer descubre el movimiento perpetuo en un cobertizo, etc.»). Ello supuso para los Curie tener que soportar las molestias de la fama, fenómeno cuya fatuidad alcanzaba su apogeo ya a principios del siglo XX. Enfrentarse a la intrusión y la banalidad que la acompañaban debió suponer un golpe bastante duro para una mente tan poco frívola como la de Marie Curie.

Hubo poco tiempo para investigaciones serias en 1904, pero no solo a causa del interés de los periódicos, los sacos de cartas de admiradores, los perfectos desconocidos llamando a la puerta del laboratorio y esas cosas. Como consecuencia directa del Premio Nobel, Pierre se incorporó a la recién creada cátedra de física de la Sorbona. Marie consiguió un puesto de profesora a tiempo parcial en la rama femenina de la *École Normale Supérieur en Sévres*, en las afueras de París. Fue la primera mujer en trabajar para esa facultad pese a ser un colegio exclusivamente femenino (el más prestigioso de la educación superior francesa). El que no fuera un puesto a tiempo completo se debió solo en parte a la discriminación sexual. En el verano de 1904 Marie tuvo un aborto, un suceso traumático que la tuvo en baja forma unos meses. No fue hasta los 38 años, una edad venerable (y peligrosa) para tener niños por aquel entonces, que dio a luz con éxito a su segunda hija, Eve, en diciembre de 1905.

A estas alturas ya se estaba produciendo radio a gran escala. Confiando en obtener grandes beneficios de esta maravilla recién descubierta, el emprendedor fabricante francés Armet de L'Isle erigió una factoría para su producción en los suburbios de París. Marie le dio gratis los detalles del proceso de manufactura del radio, negándose a obtener pago alguno por una información de un valor incalculable. De L'Isle aceptó estas condiciones de buen grado, pero no así el hecho de que otros fabricantes competidores extranjeros también se beneficiaran de este servicio de asesoramiento gratis.

En 1906 tanto Marie como Pierre empezaron a mostrar síntomas de lo que hoy se reconoce como efectos de la radiación. La enfermedad era desconocida entonces (por razones obvias), así que nadie sabía tratarla. A la luz de lo que hoy se sabe, lo asombroso es que estuvieran aún vivos. En este momento tanto Marie como Pierre tenían graves quemaduras en las manos. Pierre padecía también agudos dolores en las piernas y los brazos, hasta el punto de empezar a tener dificultades para vestirse y desvestirse. Entonces, en abril de 1906, sobrevino el desastre.

Tras un duro día de trabajo en la Sorbona, Pierre se dirigía a casa por la estrecha rue

Dauphine del barrio Latino. Llovía a cántaros y tenía que cobijarse bajo su paraguas. A cierta altura se apartó distraídamente de la acera, cruzándose justo en el camino de un carro de seis toneladas tirado por caballos. Fue derribado y cayó bajo las ruedas. En palabras de Eve Curie, que describiría el percance muchos años después: «La rueda trasera izquierda encontró un débil obstáculo que aplastó al pasar por encima: una frente, una cabeza humana. El cráneo quedó destrozado y la sustancia roja y viscosa se esparció en todas direcciones sobre el barro: ¡el cerebro de Pierre Curie!».

Marie quedó destrozada. Su marido, compañero de trabajo, la única mente de su mismo calibre con la que había podido establecer una relación inmediata y estrecha, se había ido para siempre. Durante algún tiempo después, al hacer sus anotaciones en el cuaderno del laboratorio, conservó su habitual costumbre de dirigirse a él por su nombre y plantearle preguntas. Incluso su primer escrito después de su muerte empieza: «Pierre Curie observó hace algunos años…». Pero no hizo un culto de su memoria: Marie Curie no tenía religión, y no pretendía erigir una alrededor de su enorme dolor.

Algunos meses después de la muerte de Pierre, asignaron a Marie su puesto como profesora de física en la Sorbona. Constituía un logro sin precedentes para una mujer, incluso para una ganadora del Nobel famosa en todo el mundo (la única deducción lógica es que ser mujer era considerado un defecto *físico*, con lo que media raza humana era considerada *inválida:* hiciera lo que una hiciera, no contaba).

El 5 de noviembre de 1906 Marie Curie subió al estrado para dar la primera clase impartida por una mujer en los 600 años de historia de la Sorbona. Empezó sin preámbulos y, retomando directamente las últimas palabras dichas por Pierre en su última clase, continuó con el mismo tema. Su voz era débil y monótona, pero la intensidad de su personalidad pronto cautivó a los asistentes. Alguien que estaba en la vanguardia científica estaba dando clases de ciencias avanzadas: las últimas noticias del frente. (Casualmente, hacía exactamente once años que Röntgen había realizado el descubrimiento fortuito de los rayos X que puso la pelota en juego, el 5 de noviembre de 1895.)

Según la hagiografía escrita años después por su hija Eve, Marie Curie asumió entonces un papel en una esfera más alta, para convertirse en una especie de santa secular de la ciencia. Su cara estaba ajada y prematuramente envejecida, su pelo gris. Aquella apariencia desolada se acentuaba por los sencillos vestidos negros que lucía, como una viuda tradicional de luto. Pero la distinguida profesora en su papel de reina Victoria era una buena madre y crió como es debido a sus dos hijas pequeñas. Eve tenía solo cuatro meses en el momento de la muerte de su padre, que describe con tanto detalle. Irène tenía nueve años por entonces.

Pero esta es solo una cara de la historia. Marie Curie era una mujer intensa y apasionada, no una efigie victoriana. En otra foto de estos años parece más entristecida que ajada. Su pelo brillante y recogido no tiene flecos grises, y lleva una blusa blanca con volantes, a la moda, aunque comedida. Una viuda, si no alegre, sí de buen ver.

El trabajo de laboratorio puso a Marie en contacto con Paul Langevin, quien había sido alumno de Pierre. Tenía una mente científica de primer orden, y estaba ya

encaminado a convertirse en el primer físico del país. Había trabajado en Cambridge con J. Thomson, colega de Rutherford J., y luego estuvo investigando el paramagnetismo débil. Supuso con acierto que se debía a la carga eléctrica de las partículas subatómicas. Como vimos, Marie Curie había trabajado también en el magnetismo, y había desempeñado un papel destacado en el nacimiento de la física nuclear.

Pero el atractivo de Langevin no estaba solo en su cerebro, tenía también un formidable bigote militar, con las puntas enceradas vueltas hacia arriba y todo (es una pena que esos magníficos adornos del orgullo masculino fueran ridiculizados hasta la extinción hace tiempo). Por desgracia, Langevin tenía también una esposa de carácter fiero y una suegra más fiera aun viviendo en su casa. Tenían sus diferencias, que a menudo desembocaban en escenas de violencia doméstica. Pero esto se consideraba bastante normal en aquellos días. Pese a gozar de una «superioridad natural masculina» (por no mencionar el bigote) esta mente científica excepcional no era rival para sus dos enconadas adversarias. Solían armarse de modo muy poco decoroso, con sombrillas, botellas e incluso con un martillo de madera, en principio destinado a ablandar el bistec del marido, no su cabeza. No obstante, a pesar de vivir en este ambiente de gran farsa doméstica, y de las constantes amenazas de divorcio, en 1909 el matrimonio Langevin había traído milagrosamente al mundo cuatro hijos en cinco años.

No es por lo tanto de extrañar que Langevin presentara un semblante algo sombrío (y a veces algo magullado) en los laboratorios de física de la Sorbona. Pero, finalmente, esa combinación entre el magnetismo y el mostacho fue demasiado para la nueva profesora de física. La compenetración entre Langevin y Curie trascendió el entendimiento científico a partir de algún momento en 1908. Hay cosas que los ojos delatan y que solo los instintos reconocen, mucho antes de que sus dueños estén dispuestos a aceptar la evidencia. Pasó al menos un año de constante contacto profesional, de diálogo científico del más alto rango y de profunda percepción intelectual, antes de que Marie y Paul se sintieran capaces de admitir el uno al otro lo que pasaba. Estaban profunda y locamente enamorados.

En julio Marie y Paul alquilaron un pequeño apartamento cerca de la Sorbona. Los colegas les veían pasarse notas en el trabajo. Pero en lugar de información técnica acerca de la naturaleza del paramagnetismo («sugiero que los electrones se alinean en un campo magnético aplicado») este par de genios intercambiaba información de naturaleza claramente comprensible para mortales de menor entidad («¡Estoy tan impaciente por verte!»).

Viniendo como venía precedido de gran farsa, el idilio siguió dentro de los cánones de este género francés por excelencia. La mujer de Langevin se puso celosa. Hubo un cruce de cartas airadas, algunas interceptadas por la persona equivocada. La mujer de Langevin amenazó con matar a Marie Curie. Langevin, probablemente el más autorizado para opinar en la materia, tomó en serio la amenaza, aunque, por alguna razón, no pareció nunca temer por su propia vida.

Pero, como ocurre siempre en estos dramas, el sufrimiento de los implicados era real y profundo. Marie Curie podía ser una mujer apasionada e intensa por naturaleza, pero no

se andaba con sofisticaciones en el terreno emocional. A juzgar por los pocos datos de que disponemos, su zozobra fue considerable. Estaba profundamente enamorada, y luchaba por arrancar a su hombre de la familia de este, mientras Paul titubeaba y agonizaba entre su familia y la mujer a la que amaba. Cómo se sentía la otra parte (en sentido amplio, incluyendo grandes y pequeños) es algo sobre lo que solo podemos hacer compasivas conjeturas.

Tales agonías eran suficientemente duras de soportar en privado, pero aún faltaba por llegar lo peor. El asunto se hizo público cuando las cartas interceptadas de Marie Curie fueron «robadas» y llegaron a manos de la prensa popular. Marie Curie veía ahora sus sentimientos más tiernos expuestos para que toda la nación los disfrutara mientras desayunaba café y cruasanes: «Mi querido Paul, estuve toda la tarde y noche de ayer pensando en ti, en las horas que pasamos juntos… delicioso recuerdo… la bondad y la ternura de tus ojos… toda la dulzura de tu presencia». Las cartas venían acompañadas de la consabida orgía de hipocresía de la prensa y las especulaciones lascivas. Incluso se arrojaron dudas sobre la muerte de Pierre: ¿Es posible que lo empujaran?

Los peores ataques vinieron de Gustave Téry, el editor derechista y antisemita de *L'Oeuvre,* antiguo compañero de escuela de Langevin, al que se la tenía guardada. Téry clamó contra los tejemanejes de la «Sorbona germano-judía». El hecho de que Marie fuera polaca, y no de origen judío, era irrelevante al parecer. Nombrar profesora de física a una mujer extranjera era un insulto a la hombría francesa (la palabra francesa *chauviniste* quiere decir «patriota»).

Las cosas se pusieron tan feas que Langevin retó a Téry a un duelo. Como colofón para esta gran farsa Langevin y Téry acudieron a la cita acompañados de sus padrinos y de un médico. Desenfundaron las pistolas a las once de una mañana de niebla en el Bois de Vincennes, el parque al este de París (en los viejos tiempos tales confrontaciones tenían lugar al amanecer: esta hora más civilizada quizá fuera una atención hacia la prensa asistente). Los contendientes alzaron lentamente sus pistolas hacia el contrario. Según Téry, en este momento se sintió asaltado por «escrúpulos de privar a la ciencia francesa de una cabeza tan valiosa». Lamentablemente, Langevin parece haber tenido parecidos escrúpulos a la hora de privar al periodismo francés de lo contrario. Tanto Langevin como Téry se negaron a disparar. La farsa alcanzó su clímax.

Tras esto Langevin decidió volver con su familia y el escándalo fue remitiendo gradualmente. Pero el daño estaba hecho. Al igual que le sucediera con su primer amor, Kazimierz, Marie Curie había sido humillada. Se había entregado a un hombre que al final escogió su familia antes que su amor por ella. Pero esta vez no solo había perdido a su hombre, sino también su reputación. Como resultado del escándalo en la prensa, el nombre de Marie Curie quedó marcado en toda Europa.

Justo antes de que la prensa aireara el escándalo, Marie Curie recibió su segundo Premio Nobel, esta vez de química, en reconocimiento a su descubrimiento (con Pierre) de los nuevos elementos el polonio y el radio. Tras la aparición de sus cartas de amor en la prensa, el comité del Nobel le dirigió una carta en la que le explicaban que de haberse sabido el asunto antes, no le habrían concedido el premio. La indirecta estaba clara, y la

prensa hizo eco de ella una vez que le fue filtrado el contenido de la carta. Esperaban que Marie renunciara al premio deportivamente («como un caballero», en palabras de cierto periódico). Confiaban en que no pusiera en un compromiso al rey de Suecia apareciendo en Estocolmo a recoger su medalla.

Pero Marie Curie no era un caballero ni tenía intención alguna de actuar como tal. Prefirió contestar al comité Nobel con una carta en la que señalaba que «el premio me ha sido concedido por el descubrimiento del radio y el polonio. Creo que no hay relación alguna entre mi trabajo científico y los hechos de mi vida privada». Puso las cartas sobre la mesa y el premio no fue revocado.

Ciertamente, si las relaciones extramatrimoniales fueran motivo suficiente como para revocar los premios Nobel, habría grandes huecos en la lista de ganadores, entre los que se encuentran célebres mujeriegos como Einstein y Schrödinger o James Watson (famoso por el ADN), conocido por su juvenil inclinación por las *au pairs* escandinavas. Pero hubo un chivo expiatorio en toda esta historia. Langevin no recibiría jamás el Premio Nobel, pese a ser el responsable de la elaboración de la teoría moderna del magnetismo y de la invención del *«sonar»,* el radar primitivo. También es digno de recordar que la valentía de este gran cerebro no se limitaba a llevar bigote cuando se trataba de enfrentarse a realidades difíciles. Después de la invasión alemana de Francia en 1940, Langevin, que tenía 68 años, fue de los pocos en oponerse públicamente al fascismo, viéndose obligado por ello a huir a Suiza para salvar la vida. Su hija fue enviada a Auschwitz y su hijo fusilado.

En 1911 Marie Curie recibió su segundo Premio Nobel, hecho que no volvería a repetirse hasta 61 años después, en 1972, cuando lo recibiera el físico norteamericano John Bardeen. Esta vez Marie Curie decidió ir a Estocolmo a recoger su premio. Cuando regresó a París en diciembre de 1911, sufrió un colapso y fue ingresada en un hospital. La tensión del escándalo, su vilipendio a manos de la prensa popular, el regreso de Paul con su familia, todo esto había sido demasiado para ella. Pero era algo más que una crisis nerviosa. A lo largo de 1912 y 1913 Marie Curie sufrió una sucesión de achaques debilitantes. Las consecuencias de haberse expuesto a la radiación iban haciendo mella. Nunca volvería a recuperar la salud robusta que la había mantenido en pie durante las largas horas de trabajo con Pierre en su cobertizo de la rue Lhomond.

En 1914 estalló la Primera Guerra Mundial. El frente occidental pronto se quedó estancado en 650 kilómetros de trincheras, extendidas a lo largo del este de Francia, desde los Alpes suizos hasta el mar del Norte. Hubo un elevadísimo número de bajas francesas. Marie Curie interrumpió su investigación del radio e inició una serie de experimentos que desembocaron en la fabricación de una máquina de rayos X portátil. Realizó una campaña para reunir los fondos necesarios para equipar una ambulancia y no tardó en llevar su aparato al frente.

En 1916 Marie Curie ya dirigía un parque móvil de ambulancias, y se había sacado el permiso de conducir para no tener que depender de un chófer, lo que supuso un paso radical. En aquellos tiempos la proporción de hombres y mujeres que conducían era de quinientos a uno (quizá a los conductores hombres les interese saber que, curiosamente,

la gradual reducción de este desequilibrio con los años vino acompañada de una reducción paralela de la tasa de accidentes).

En este mismo año su hija Irène, con 18 años, se unió a Marie, para ayudarla a dar lecciones de radiología al personal médico militar, lo cual les permitiría emplear los nuevos aparatos de rayos X en el frente sin que nadie les supervisara. Fue el comienzo de una colaboración entre madre e hija que duraría el resto de la vida de Marie Curie.

Nada más finalizar la guerra, Marie Curie abrió el Instituto del Radio en París. Su objetivo era estudiar los usos del radio, y se convirtió rápidamente en un centro de física y química nuclear de renombre mundial. Marie Curie era la directora del Instituto e Irène hacía de ayudante. Ambas tomaron parte activa en las investigaciones, aunque pronto Marie comprendió que no disponía de tiempo suficiente para tales proyectos.

Marie Curie era ya una figura científica mundialmente famosa, una especie de Albert Einstein femenina. Por aquel entonces los alemanes aún reivindicaban con orgullo como suyo al suizo-judío Einstein; para no ser menos, los franceses reclamaban para sí a la polaca Marie Curie. La llegada del nacionalismo a la ciencia era muy reciente, y aún estaba en su fase infantil, pero iba a crecer deprisa. En 15 años Hitler despacharía la «ciencia judía»: un flaco favor para la investigación científica nazi.

Así como Einstein aprovechó su fama en beneficio de causas progresistas, Marie Curie se convirtió en emblema de la mujer independiente. Con sus dos premios Nobel y sus dos hijas criadas a pesar de haber quedado viuda, se convirtió en una fuente de inspiración para la generación de mujeres nacidas en el periodo de entreguerras. Ningún coto estaba vedado. Las mujeres podían desenvolverse igual de bien (o mejor) que los hombres en el ámbito científico, sin que ello implicara tener que sacrificar la familia. (¿Puede ser casualidad que tanto Margaret Thatcher como Golda Meir e Indira Gandhi escogieran inicialmente estudiar ciencias?)

En 1921 Marie Curie fue invitada a Estados Unidos. Cuando le preguntaron qué le gustaría recibir como regalo del presidente, pidió un gramo del precioso radio, que costaba la increíble suma de 100.000 dólares, pero las mujeres de América no tardaron en reunir la suma. En Washington, el presidente Harding entregó puntualmente a Marie Curie, que iba acompañada de sus dos hijas, una maleta de cuero verde con una réplica del radio. Empezaban a conocerse los peligros de la radiactividad. Pero como resultado de las investigaciones de Marie Curie en el Instituto del Radio de París, también empezaban a conocerse sus efectos beneficiosos. El radio se empleaba ahora en la radioterapia, o curieterapia, como se conocía. Esta consistía en diversas formas de exposición a cantidades minúsculas de radio, por «inhalación» de su radiación, ingestión de líquido irradiado, baños de «solución de radio», o a veces por inyección. La radioterapia estaba siendo explorada como tratamiento para una gran variedad de enfermedades, sobre todo para el cáncer, la artritis y ciertas enfermedades mentales.

Estos tratamientos estaban en una fase temprana de su desarrollo y no se vieron favorecidos por las exageraciones de la prensa del tipo: «¡Descubierta la cura del cáncer!». En la década de los veinte el radio creció de tal modo en la imaginación popular que pronto se le consideró una panacea, cura milagrosa de todos los males. El

nombre de Marie Curie estaba indisolublemente unido al radio, y esta ola de sensacionalismo no hacía más que intensificar su publicidad. Ello la cansaba en gran medida, pero tampoco era completamente contraria a la popularidad.

Madame Curie, como era universalmente conocida, desarrolló una inconfundible relación de posesión hacia el radio. Era su descubrimiento, su elemento. En determinado momento se puso de manifiesto la necesidad de establecer un patrón de calidad del radio, algo importante para garantizar el control de la dosificación y, sobre todo, para evitar discrepancias numéricas en el ámbito internacional de la investigación. Marie Curie era muy partidaria de ello y, de hecho, había promovido el debate de este asunto, pero insistía en ser ella la que lo estableciera, a su manera, y en mantener dicho patrón en el Instituto del Radio de París. Las autoridades internacionales llamaron a Rutherford como mediador para tratar con la «propietaria del radio». Rutherford sabía que Curie podía ser una mujer difícil, pero también era consciente de los prejuicios machistas con los que ella se seguía topando entre la comunidad científica. Típica, en este sentido, era la actitud del eminente químico norteamericano, Bertram Boltwood, de Yale, que se refería habitualmente a ella llamándola «maldita fea tonta». Por suerte, Rutherford tenía más respeto por la doble ganadora del Nobel. Los dos consiguieron llegar a un acuerdo; Marie Curie estableció el patrón del radio y, por fin, la convencieron para entregar la muestra al Comité Internacional del Patrón del Radio.

En 1932 Marie Curie volvió a Polonia para abrir un nuevo Instituto del Radio en Varsovia. Su hermana Bronia fue nombrada directora. La liberación de Polonia tuvo lugar en 1918, y los Skłodowski eran ahora un orgullo nacional, pero Marie volvió a su propio y querido Instituto del Radio de París, donde se volcaba en crear la mayor reserva de radio del mundo. Era necesario para el tratamiento de enfermedades y para la investigación. De hecho, la escasez de radio empezaba a ser motivo de tensión entre estas dos causas. Hasta la llegada de los aceleradores de partículas en la década de los treinta, y su uso para producir radio en cantidades mayores, no se resolvió del todo el conflicto.

En 1932 Marie Curie tenía 62 años. Pese a su edad y al avance de las enfermedades relacionadas con la radiación, se mantenía sorprendentemente en forma. Durante las vacaciones se dedicaba a dar largos paseos por los Alpes e iba a nadar. Una vez de vuelta a París era aún capaz de trabajar en el laboratorio con su hija Irène hasta avanzadas horas de la noche.

Irène era ahora una figura destacada en el Instituto del Radio y se estaba ganando un renombre científico internacional. En 1926 se casó con Frédéric Joliot, uno de los ayudantes de su madre, que estaba demostrando progresivamente ser un excepcional investigador. Irène Joliot-Curie, como ahora se la conocía, y Frédéric Joliot estaban muy enamorados, y como antes hiciera su madre, Irène estableció una estrecha asociación de trabajo con su marido. Él era brillante y extrovertido, mientras que ella tenía la tímida intensidad de su madre. Sus fotos muestran a una pareja feliz, con estilo y a la moda (Irène no heredó el gusto de su madre en el vestir).

En enero de 1934 Joliot y Joliot-Curie hicieron el importante descubrimiento de la

«radiactividad artificial», continuación de la «radiactividad inducida» que descubriera Pierre Curie. Los Joliot-Curie hallaron que cuando el aluminio era sometido a cierto tipo de radiactividad (rayos alfa), era susceptible de retener una partícula alfa y emitir un neutrón. Esto lo hacía inestable y radiactivo. El aluminio se transformaba en un isótopo inestable del fósforo que, como resultado de las emisiones radiactivas, se desintegraba progresivamente hasta convertirse en silicio, un elemento estable. Estos descubrimientos casi hacían realidad el sueño de los antiguos alquimistas. Puede que no fuera posible convertir metales viles en oro, pero era desde luego posible convertir *algunos* elementos en otros. Además, los Joliot-Curie llegaron a una conclusión de enorme importancia: «los científicos, al crear o destruir elementos a su voluntad, serán capaces de producir transmutaciones de carácter explosivo».

Marie Curie reaccionó ante la noticia del gran descubrimiento de su hija con discreto orgullo. Había preparado a su hija exactamente para eso. Cinco meses después, en junio de 1934, Marie Curie dejó París para ir a un sanatorio en los Alpes franceses, donde murió el día 4 de julio de 1934 a la edad de 66 años. Murió de leucemia, resultado de haberse expuesto en exceso a la radiación radiactiva. Acabó al fin pagando el precio de los largos años de producción de radio en el hangar.

Un año después los Joliot-Curie recibieron el Premio Nobel por su descubrimiento de la radiactividad artificial. Pero esta historia tiene un apéndice digno de una novela victoriana. Años después, la hija de Irène Joliot-Curie se casó con el nieto de Paul Langevin.

En 1938 la hija menor de Marie Curie, Eve, publicó la biografía oficial de Marie Curie, que se convirtió de inmediato en éxito de ventas y fuente de inspiración, siendo traducida a una veintena de idiomas. En este voluminoso libro impregnado de devoción, *Madame Curie* parece esculpida en la misma piedra de los grandes monumentos: una figura heroica que dio su vida por la ciencia. El libro de Eve Curie cuenta muchos detalles personales reveladores y encantadores que de otro modo habrían sido olvidados, y por ello hay que estar agradecidos, pero esta hagiografía tiene ciertos defectos muy señalados. Marie Curie no era una santa. Pasa de puntillas por la aventura con Paul Langevin, sin hacer mención alguna de lo que Marie Curie sufrió a causa del consiguiente escándalo público. Ello constituye un insulto a la condición femenina de la mujer más excepcional del siglo XX.

Fechas importantes en la vida de Marie Curie y para la radiactividad

1867	Nace Maria Skłodowska en Varsovia.
1878	Muere su madre.
1883	Gana la medalla de oro al graduarse en el Liceo Ruso de Varsovia.
1883	Va a pasar un año al campo con sus tíos.
1886	Trabaja como institutriz para la familia Zorawski para mantener a su hermana Bronia en París.
1891	Va a estudiar a París.
1893	Es número uno en la licenciatura de ciencias físicas de la Sorbona.
1893	Entra a formar parte de los laboratorios de investigación de Lippmann.
1894	Conoce a Pierre Curie, con el que se casa un año después.
1895	Röntgen descubre los rayos X.
1896	Becquerel observa la radiación.
1897	Nace su hija Irène.
1898	Investigaciones pioneras de la radiactividad; se inicia la colaboración con su marido Pierre. Descubrimiento del polonio y el radio.
1899-1903	Trabaja en su taller-laboratorio aislando el radio a partir de la pechblenda.
1903	Presenta su tesis doctoral sobre la radiactividad. Gana el Premio Nobel de Física junto con Pierre y Becquerel por su trabajo sobre la radiactividad.
1905	Nace su segunda hija, Eve.
1906	Pierre Curie muere en un accidente de tráfico.
1910-1911	Escándalo Langevin.
1911	Obtiene el Premio Nobel de Química por el descubrimiento del polonio y el radio.
1914-1918	Organiza unidades móviles de radiografía, que lleva al frente.
1916	Obtiene el permiso de conducir. Inicia su colaboración con su hija Irène.
1918	Se inaugura el Instituto del Radio en París.
1921	Viaja a Norteamérica con sus dos hijas.
1932	Inauguración del Instituto del Radio de Varsovia.
1933	Los Joliot-Curie descubren la «radiactividad artificial».
1934	Muere de cáncer, debido a la exposición a la radiación, a los 66 años.
1935	Su hija Irène Joliot-Curie gana el Premio Nobel de Química.

Otras lecturas recomendadas

Quinn, Susan: *Marie Curie: A Life* (Simon & Schuster, 1995) –La última biografía completa.

Curie, Eve: *La vida heroica de María Curie* (Madrid, Espasa-Calpe, 1973) –La versión santa y oficial de su vida escrita por su hija: llena de fascinantes detalles personales.

Bernstein, Jeremy: *A Theory for Eveything* (McGraw-Hill, 1966) –Una serie de ensayos sobre la ciencia moderna, que incluye un capítulo sobre Curie.

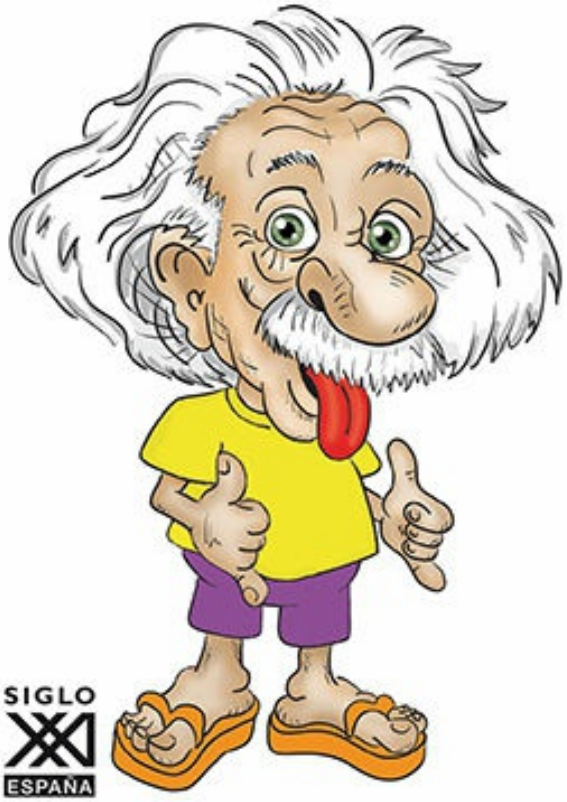
Romer, Alfred: *The Discovery of Radioactivity and Transmutation* (Dover, 1964 *et seq*).

EINSTEIN

Y LA RELATIVIDAD

EN 90 MINUTOS

PAUL STRATHERN



SIGLO XXI ESPAÑA

Siglo XXI de España / En 90 minutos

Paul Strathern

Einstein y la relatividad

en 90 minutos

Traducción: Paloma Farré

Revisión: José A. Padilla

A partir del momento en que Einstein publicó, en 1905 y 1917, sus revolucionarios trabajos sobre la teoría de la relatividad, la visión que el ser humano tenía del mundo y del universo cambió para siempre. *Einstein y la relatividad* presenta una instantánea brillante de la vida y la obra de Einstein dentro de su contexto histórico y científico, y explica, de un modo claro y conciso, el significado y la importancia de la teoría de la relatividad, además de la manera en que esta ha cambiado y determinado el progreso de la ciencia en los últimos cien años.

«90 minutos» es una colección compuesta por breves e iluminadoras introducciones a los más destacados filósofos, científicos y pensadores de todos los tiempos. De lectura amena y accesible, permiten a cualquier lector interesado adentrarse tanto en el pensamiento y los descubrimientos de cada figura analizada como en su influencia posterior en el curso de la historia.

Diseño de portada
RAG

Motivo de cubierta:
www.deimagenesyfotos.com

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes sin la preceptiva autorización reproduzcan, plagien, distribuyan o comuniquen públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo de soporte.

Nota a la edición digital:

Es posible que, por la propia naturaleza de la red, algunos de los vínculos a páginas web contenidos en el libro ya no sean accesibles en el momento de su consulta. No obstante, se mantienen las referencias por fidelidad a la edición original.

Título original
The Big Idea: Einstein and Relativity

© Paul Strathern, 1997

© Siglo XXI de España Editores, S. A., 1999, 2014
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.sigloxxieditores.com

ISBN: 978-84-323-1687-6

Introducción

Einstein cambió el universo pero murió como un fracasado. Su teoría de la relatividad le sitúa como la mente científica más prodigiosa desde Newton. La relatividad supuso el fin de nuestra concepción del espacio y del tiempo y dejó entrever un mundo inconcebible anteriormente. Su célebre fórmula $E = mc^2$ demostró que la materia se podía transformar en energía y, de este modo, anunció la era nuclear, además de realizar una importante aportación a la teoría cuántica. Sin embargo, en última instancia, Einstein no fue capaz de aceptar las implicaciones de sus descubrimientos, en especial en lo referente a la teoría cuántica. En consecuencia, desperdició más de un cuarto de siglo buscando una teoría global que su propio trabajo había hecho imposible.

Durante la última mitad de su vida Einstein se convirtió en una institución pública: «el mayor genio del mundo», un absurdo que aceptó de buena gana y que utilizó de un modo ejemplar para luchar incansablemente contra los males, desde el antisemitismo hasta las armas nucleares. La imagen que dio al mundo fue la típica del genio distraído. El Einstein hombre era ambicioso, muy consciente de sus dotes excepcionales y, en el fondo, una figura trágica. El mérito social le importaba poco en comparación con su fracaso a la hora de explicar el mecanismo esencial del universo con su teoría del campo unificado.

Vida y obra

Albert Einstein, de padres judíos alemanes, nació el 14 de marzo de 1879 en Ulm, una pequeña ciudad del sur de Alemania. Su madre era la hija culta de un comerciante de grano que provenía de Stuttgart y que disfrutaba tocando el violín; cuando nació Albert solo tenía 21 años. Su padre, Hermann, era un hombre afable y sociable; llevaba un gran bigote, sabía apreciar una jarra de buena cerveza alemana y le gustaba recitar poemas.

Era la época de la Alemania de «sangre y hierro» bajo el mandato del canciller Bismarck, cuando hasta los cocheros llevaban uniforme. Los judíos se habían emancipado en 1867, y en el año en que nació Albert se utilizó por primera vez la palabra «antisemitismo» en un artículo de una revista alemana.

Un año después del nacimiento de Albert, el negocio de material eléctrico de su padre fracasó y la familia se trasladó a los alrededores de Múnich para vivir en la casa de Jakob, el hermano de Hermann, donde los dos hermanos pusieron en marcha un pequeño taller de electroquímica.

Lo que distinguía al Albert niño era su lentitud y su carácter algo soñador. Había sido víctima de una ruptura familiar («la pérdida del paraíso», como lo llaman los psicólogos) y su padre era un fracasado. Estas circunstancias se repiten con sorprendente frecuencia en el entorno familiar de los genios (Herr Johann van Beethoven, el cantante borracho; Mr. John Shakespeare, el guantero poco de fiar, etc.) aunque, por lo demás, la primera infancia de Albert no tiene nada de excepcional.

El padre de Albert no era religioso y se consideraba a sí mismo una persona muy adaptada. En consecuencia, envió al joven Albert a una escuela católica, donde se encontró con que era el único judío en clase. Como casi todo lo demás en Alemania, las escuelas se regían por normas militares. Los profesores de los más pequeños se enorgullecían de actuar como sargentos pedantes y mandones. El joven Albert se aburría, aprendió poco y desarrolló un profundo rechazo hacia la autoridad que no le abandonaría en toda su vida. En casa, su madre le puso a estudiar violín; él disfrutaba con ello y aprendió a tocar bien: otra habilidad que no le abandonaría en su vida. La preocupación principal del padre de Albert era mantener a flote el negocio familiar en una época de recesión económica, pero realizó algún intento esporádico para que su hijo se interesara en algún asunto académico. Un día le mostró una brújula a su hijo y este le preguntó por qué la aguja siempre apuntaba en la misma dirección. Hermann le explicó que se debía al magnetismo, pero Albert quería saber cómo se las apañaba el magnetismo para atravesar el espacio: a esta pregunta Hermann no tenía respuesta.

Esa noche, Albert permaneció despierto sopesando cómo una fuerza invisible podía atravesar el espacio.

Al mismo tiempo, «Onkel Jakob» introdujo al chico en el álgebra. «Es una ciencia divertida», le explicó. «Cuando no podemos atrapar al animal que tratamos de cazar, le llamamos x temporalmente y continuamos la caza hasta que lo cazamos.» Bertl («Albertito», su apodo familiar) enseguida se aficionó.

En 1891, cuando Einstein tenía 12 años, otro profesor aficionado apareció en escena. En aquellos días, entre las familias judías centroeuropeas, los jueves se acostumbraba a invitar a cenar a un miembro pobre de la comunidad. El hogar de los Einstein recibía a Max Talmey, un estudiante de medicina. Max empezó a prestarle libros de divulgación científica al joven Bertl, cuyo cerebro, que por otra parte era muy vago, devoró a toda velocidad. Una vez más, Einstein desarrolló una cualidad que no le abandonaría en toda su vida. Era una persona muy autodidacta y prestaba poca o ninguna atención a lo que decían sus profesores. Prefería ir a lo suyo y hacer las cosas a su manera. El resultado fue una profundidad de conocimiento excepcional, acompañada de una frecuente dificultad con los exámenes más elementales.

Max Talmey pronto empezó a traerle libros sobre geometría plana y, al instante, el chico estaba aprendiendo cálculo. Cada semana, Max comprobaba los progresos que realizaba Albert, hasta que finalmente tuvo que admitir que «ya no podía seguirle». Max le animó en vano a que leyera libros de medicina y de biología, pero a Albert no le interesaban. No suponían suficiente reto intelectual: aparentemente, solo le interesaba tratar de abarcar nociones complejas y descubrir los principios implicados subyacentes.

De este modo, el estudiante de medicina comenzó a introducir a Albert en su asignatura preferida: la filosofía. El joven adolescente que padecía «dificultades de aprendizaje» en la escuela comenzó a estudiar las obras de Kant, que son endiabladamente difíciles: metafísica alemana en su versión más prolija y oscura. De hecho, puede que en este gesto de Max incluso hubiera algo de malicia en un intento de poner a Albert en su sitio. Pero la obra de Kant contenía el sistema filosófico más fascinante de todos, una estructura de profundidad excepcional que pretendía explicar absolutamente todo. Anteriormente, Einstein se había enfrentado a sutilezas y refinamientos intelectuales, a conceptos que requerían una concentración extrema tan solo para entenderlos y a técnicas brillantes. Pero con Kant aprendió, por primera vez, lo que la mente en toda su gloria es capaz de alcanzar: un sistema que abarque el universo. Einstein nunca olvidó esta lección. La broma de Max, si es que fue una broma, iba a tener consecuencias palpables.

En 1894, cuando Einstein tenía quince años, el negocio de su padre quebró una vez más. La familia se mudó a Italia, donde su padre estableció una nueva fábrica cerca de Milán. Pero a Albert lo dejaron en una casa de huéspedes en Múnich para que obtuviera el diploma del Instituto Luitpold. Esto le permitiría entrar en la universidad, donde obtendría un título de ingeniero y después se uniría al negocio familiar. La familia de su madre financiaría sus estudios hasta que Hermann se recuperara.

En seis meses Einstein sufrió una crisis nerviosa y le expulsaron del instituto porque (según su propio relato) su presencia en clase era «un trastorno y alteraba a los demás alumnos». Puede que la crisis nerviosa fuera fingida con el fin de que le enviaran a Italia junto a sus padres. Pero parece que la expulsión sí fue real. Einstein había desarrollado una aversión especial a la disciplina y, de acuerdo con sus memorias, consideraba el plan de estudios académico como una mezcla de engaño, de improcedencia y de aburrimiento. Por lo que respecta a la Grecia antigua, la historia, la geografía y,

sorprendentemente, la biología y la química, ni siquiera se molestó en probar. Comenzaba a ser consciente de la precocidad de su intelecto (que dejaba atrás a todos en matemáticas y física), lo cual le infundió una acusada seguridad en sí mismo. Y esto, en combinación con cierto grado de inmadurez, le hacía parecer insolente y engreído.

Albert disfrutó de un año muy agradable en Italia. No iba a la escuela, aunque parte de su tiempo lo dedicaba a escribir sobre uno de los problemas científicos más difíciles del momento: la relación entre la electricidad, el magnetismo y el éter (el medio invisible que transmitía ondas electromagnéticas). Desde un punto de vista profesional, esto no añadía nada original, pero era una proeza admirable en una persona de dieciséis años. Además demostraba que seguía pensando en el magnetismo y en el modo en que este viajaba a través del espacio.

A finales del año, realizó el examen de admisión en la Eidgenössische Technische Hochschule en Zúrich (comúnmente conocida como la Politécnica de Zúrich). El profesor de física, Heinrich Weber, estaba asombrado con sus sorprendentes notas en matemáticas y física. Sin embargo, su padre, Hermann, reaccionó de un modo un tanto distinto cuando se enteró de sus notas en francés, biología, historia y otras asignaturas. Einstein había suspendido de un modo estrepitoso, y casi seguro que lo hizo adrede, pues no deseaba embarcarse en un curso de ingeniería que culminaría con su adhesión al negocio de material eléctrico de su padre. Sin embargo, gracias a la intervención personal del profesor Weber, le ofrecieron una plaza en la Politécnica de Zúrich para el año siguiente. Solo había una condición añadida: Einstein tenía que asistir a una escuela, a cualquier escuela, durante el año que mediaba.

Hermann reconoció la poca disposición de su hijo a participar en el negocio familiar. Pero estaba perdido: no tenía dinero y se preguntaba si debía insistir en que Albert acudiera a ayudar en el negocio inmediatamente. Una vez más se puso en contacto con los parientes de su mujer y una vez más accedieron a financiar la educación de Albert. Pero esta vez querían ver resultados. Era absurdo desperdiciar el dinero en un inútil.

Mucho tiempo después de todas estas decepciones y disputas, muchos años después de la muerte de Hermann, Einstein siempre insistió en algo acerca de su padre: que era «sabio». Que Hermann comprendiera las necesidades y la intuitiva aversión de su caprichoso hijo a enterrarse en el negocio familiar resumía la sabiduría de Hermann. Sin esto no habría habido teoría de la relatividad.

Hermann decidió enviar a Albert a la escuela de una población a las afueras de Zúrich, y le permitió estudiar física y matemáticas en vez de una ingeniería cuando entró en la Politécnica de Zúrich. Y esta vez, en lugar de quedarse en una solitaria casa de huéspedes, Einstein viviría con la familia de uno de los profesores.

A pesar de la «sabiduría» de su padre, Einstein seguía teniendo ciertas reticencias a la hora de volver a la escuela. Pero estas desaparecerían pronto ya que Aurau resultó ser una agradable localidad ribereña ubicada entre viñedos ondulados, y sus anfitriones, la familia Winteler, eran alegres y acogedores. No era Alemania, sino Suiza. En lugar de rigidez pedagógica, encontró apertura hacia el debate intelectual. Einstein disfrutaba de lo lindo cuando acompañaba a la familia los fines de semana en expediciones para

observar aves y en excursiones por las montañas.

Einstein había aprendido a tocar el violín por primera vez gracias a su madre y, por entonces, ya era un consumado intérprete *amateur*. Durante las tardes musicales en la casa de los Winteler, entretenía a la familia interpretando dúos con Marie, la hija de 18 años, que le acompañaba al piano. Albert era un violinista animado: la música parecía mostrar la faceta pasional de su carácter.

Hay fotografías de la época que muestran a Einstein como un joven apuesto de pelo oscuro y rizado, bigote en ciernes, y con cierto aire de seguridad en sí mismo. Va bien vestido, a pesar de la incipiente evidencia del aspecto despreocupado que más tarde se convertiría en su sello de identidad; en esa temprana etapa de su vida, este rasgo únicamente le añadía un toque de jovial chulería. Quizá era inevitable que Marie se enamorara de él.

Se trataba de la primera experiencia romántica de Albert, y parece que fue bastante intensa, platónica y un poco unilateral. La física matemática ya era una pasión primordial en Einstein, y así sería a lo largo de toda su vida. Pero le gustaba la compañía de las mujeres y sabía que resultaba atractivo.

Durante este periodo Einstein se desenvolvía en la sociedad con alegría y seguridad en sí mismo, y poseía un espíritu claramente transgresor; además, le gustaba reírse a carcajadas. Un amigo de clase recordaba cómo adoptaba la actitud de «filósofo risueño, burlón e ingenioso que fustigaba cualquier presunción o pose». Pero tenía esa incorregible tendencia a sumirse en sus propios pensamientos. Quizá de un modo inevitable, el romance con Marie se derrumbó cuando ocupó su plaza en la Politécnica de Zúrich en el otoño de 1895. Ella tenía el corazón roto; él, sin un atisbo de vergüenza, decidió olvidarlo todo.

La Politécnica de Zúrich era la escuela técnica más importante de Centroeuropa en la época. Sus laboratorios estaban magníficamente equipados por Siemens (irónicamente, se trataba de uno de los grandes consorcios industriales que sacaron a Hermann del negocio), y atrajo a un profesorado del mejor calibre. A pesar de esto, Einstein pocas veces aparecía por clase. Uno de sus profesores, el gran matemático rusoalemán Hermann Minkowski, lo llamó «perro vago». Pero Einstein persistió en mantener su actitud engreída de siempre. Su ingratitud hacia el profesor Weber –que había sido el responsable de que le aceptaran en la universidad– fue típica de él. Las clases de física que impartía Weber incluían algunos de los mayores avances técnicos que se habían realizado en los veinte años anteriores, y Einstein se mostraba francamente desdeñoso. En el laboratorio se negaba a obedecer instrucciones, pues prefería idear sus propios métodos, más modernos. Durante un experimento para determinar los efectos del éter, su equipo estalló, lo cual le provocó una herida grave en la mano derecha. Por fortuna no le duró mucho y pronto pudo volver a coger el violín.

Einstein pasaba la mayor parte del tiempo leyendo con avidez, abriéndose camino a través de los últimos avances de la física. En el siglo pasado se habían logrado enormes progresos científicos, especialmente en física, que entonces era la vanguardia del conocimiento científico. La situación había alcanzado el estado en el que todos los

elementos dispares del conocimiento científico parecían unirse en una vasta visión global. La perspectiva de una humanidad que alcanzara un conocimiento absoluto sobre el mundo estaba en el horizonte. Muchos creyeron que se trataba del momento más emocionante de la historia desde el punto de vista científico. Las generaciones futuras no tendrían nada que descubrir y estarían condenadas al mero trabajo tedioso de la medición.

No obstante, en otras disciplinas estaban comenzando a surgir ciertas dudas. Algunas antiguas certidumbres empezaban a cuestionarse, lo cual originaba la sospecha creciente de que la física clásica no era adecuada para describir las cada vez más complicadas realidades del mundo físico.

Muchos intelectuales de Zúrich que contemplaban el mundo con una perspectiva no científica se hacían eco de tales creencias de una forma misteriosa. Trotsky, Lenin, Rosa Luxemburg (y más tarde los futuristas, los dadaístas y James Joyce) frecuentaban los cafés de Zúrich. En aquellos tiempos era mucho más que un centro bancario provinciano dirigido por gnomos. Era una ciudad viva en el corazón de Europa con una sociedad cosmopolita cuya vida giraba en torno a los cafés.

En medio de las tandas de lectura e investigación cada vez más esotéricas, Einstein veía a sus amigos de la universidad en el Metropole, un famoso café situado cerca del río y frecuentado por estudiantes. Había empezado a fumar en pipa y su bebida preferida era el café con hielo. (En aquella época Einstein no bebía cerveza, principalmente porque no tenía suficiente dinero. De hecho, a lo largo de su vida, nunca se aficionó al alcohol, pues consideraba que le embotaba el cerebro.)

Einstein tenía un círculo pequeño de amigos íntimos. Todos eran personas brillantes, estudiaban matemáticas o física y estaban obsesionados con las cuestiones científicas fundamentales. Sin estas cualidades habría sido imposible seguirles en sus conversaciones.

De los compañeros de clase de Einstein, Marcel Grossmann fue quizá el primero en darse cuenta de que la lucidez de Einstein era algo fuera de lo común. Cuando llegaba la época de exámenes, Grossmann le prestaría desinteresadamente a Einstein sus apuntes: de otro modo, no habría podido abarcar el programa de estudios. Michelangelo Besso, estudiante de ingeniería amigo de Einstein, era un personaje agradable que compartía el interés de Einstein por la filosofía. Le introdujo en la obra de Ernst Mach, el filósofo de la ciencia cuyo nombre quedó inmortalizado por la medición de la barrera del sonido. En aquellos días, Mach pretendía convulsionar de forma similar los incuestionables supuestos abstractos de la física clásica. Un tercer amigo íntimo de Einstein era Fritz Adler, hijo del fundador del Partido Socialdemócrata de Austria. Einstein admiraba a Adler por su idealismo inquebrantable. La actitud iconoclasta de Einstein era algo más que un desmandamiento juvenil. El antiautoritarismo, el antimilitarismo, el desprecio hacia métodos y presunciones anticuados formaban parte de un idealismo social creciente. Todo esto se defendía a ultranza, si bien, en ocasiones, de un modo ingenuo y utópico: dos características del idealismo de Einstein que perdurarán a lo largo de su vida.

Cuando no trabajaba a solas en su habitación, o mantenía serias conversaciones (salpicadas de carcajadas maníacas) con sus amigos en el Café Metropole, Einstein salía a navegar por el lago Zúrich con la hija de su casera. Esto marcó el comienzo de dos aficiones que perseguiría con entusiasmo hasta el final de sus días: a saber, navegar y flirtear. (La hija de la casera no fue la única persona a la que invitó a estos íntimos viajes en barco, a pesar de que el barco pertenecía a la familia de esta.)

Solo una persona era capaz de abarcar todas estas facetas de la vida de Einstein: Mileva Maric, la única mujer estudiante de su clase. Mileva era serbia, de Novi Sad, que entonces pertenecía al Imperio austrohúngaro. Su padre era un funcionario que la había enviado a la Politécnica de Zúrich porque como mujer no le estaba permitido estudiar física avanzada en su país. (Hubo que esperar *ocho años* para que Marie Curie se convirtiera en la primera mujer que recibía un doctorado *en cualquier materia* en Francia: el mismo año en que ganó su primer Premio Nobel.) A diferencia de las demás mujeres con las que Einstein pasaba el rato, Mileva era de aspecto bastante corriente y no coqueteaba en absoluto. Rara vez se reía y, a causa de una cadera permanentemente dislocada, cojeaba ligeramente al andar. Muchos se han preguntado cómo llegó a ocupar un lugar tan central en la vida de Einstein en aquellos días. En fotografías contemporáneas aparece con duras facciones eslavas, pero la naturaleza de sus oscuros ojos y de sus gruesos labios insinúa una sensualidad secreta. También se trataba de la primera mujer con la que Einstein podía discutir sus preocupaciones más profundas. Cuando empezaba a charlar de física, ella estaba lo suficientemente al corriente como para hacer alguna sugerencia. Y Einstein, naturalmente, admiraba su independencia pionera, un raro logro entre las mujeres de la época.

En 1900 Einstein tomó prestados los apuntes de Grossmann por última vez y se presentó a los exámenes finales. Obtuvo unos resultados irregulares que apenas dejaban ver su excepcional mente científica. Estos resultados, en combinación con su negativa a escuchar a los profesores, contribuyeron a que no recibiera ningún apoyo para la carrera académica que deseaba seguir. Solicitó plaza en varias universidades, a su estilo. La mezcla característica de Einstein, que consistía en hacer alarde de su poca ortodoxia y alta autoestima intelectual (con pocas pruebas concretas que la respaldaran), estimulaba la ausencia de ofertas.

En 1900, Einstein obtuvo la ciudadanía suiza, en parte porque allí se sentía como en casa y también para evitar volver a Alemania a prestar el servicio militar. Pero esto no le ayudó a la hora de solicitar trabajo, ya que también poseía otra característica personal que era aún más difícil de disimular que la autoestima; a saber, su condición de judío. El antisemitismo era muy corriente en toda Europa en los distintos ámbitos profesionales. (Solo habían pasado seis años desde que el famoso caso Dreyfus sacudiera París, cuando Dreyfus, un oficial judío del ejército francés, fue enviado a la Isla del Diablo acusado falsamente de espionaje.) Einstein empezó a quedarse sin dinero y finalmente tuvo que aceptar un puesto temporal en la Escuela Técnica de Winterthur, que estaba a solo dieciséis kilómetros al norte de Zúrich.

La actitud de Einstein frente a la disciplina le proporcionaba popularidad, pero también

le hacía ineficaz como profesor. Durante su tiempo libre continuaba con sus investigaciones, que había empezado a enfocar hacia la posibilidad de un vínculo entre la fuerza molecular y la fuerza de la gravedad, que actuaba sobre vastas distancias. En esta etapa, trataba de incorporar los últimos avances científicos a la estructura general de la física clásica más que proponer una estructura alternativa. Pero ya empezaba a reflexionar sobre un orden más amplio de las cosas, en un intento por avanzar respecto a Newton. Una empresa ambiciosa, pero tal y como le comentó a Grossmann en una carta: «Es maravilloso reconocer los rasgos unificadores de un complejo de fenómenos que se presentan bastante poco relacionados con la experiencia directa de los sentidos». Einstein empezaba a descubrir sus facultades.

Cuando podía, los fines de semana viajaba a Zúrich para ver a Mileva, y durante la semana intercambiaban cartas. Después de un fin de semana de mayo, Einstein escribió: «Qué deliciosa fue la última vez, cuando se me permitió estrechar en mis brazos tu querida y delicada persona tal y como la naturaleza la creó». Se habían convertido en amantes.

Unos meses después, el trabajo de profesor de Einstein llegó a su fin y no tenía ninguna perspectiva de trabajo futuro. Al enterarse de esto, Grossmann, su viejo amigo de la época de estudiante, le pidió a su padre que recomendara a Einstein para un trabajo en la Oficina de Patentes suiza, en Berna. Einstein supo que por el momento no había ningún trabajo disponible, pero que lo tendrían en cuenta si surgía alguna vacante. La siguiente noticia que recibió fue que Mileva estaba embarazada.

Einstein tenía entonces 21 años, se había quedado sin trabajo y prácticamente no tenía dinero. Una vez más, el negocio de su padre había quebrado y los parientes de su madre ya no estaban dispuestos a seguir manteniéndolo. Einstein le propuso a Mileva que se casaran, pero ambos sabían que eso era imposible: él era incapaz de mantenerla.

Finalmente, Mileva volvió a Novi Sad, donde dio a luz a una niña, a la cual Albert y Mileva mencionaban en sus cartas como «Lieserl» («pequeña Lisa»).

A comienzos de 1902 Einstein viajó a Berna donde, al fin, había una vacante en la Oficina de Patentes. Se convirtió en examinador técnico (Tercera Clase), lo cual implicaba seleccionar entre los numerosos inventos sujetos a la aprobación de la Oficina. Estos incluían el habitual surtido de artilugios ingeniosos, hilarantes objetos inverosímiles y dispositivos simples con los que se fundarían dinastías financieras. Einstein examinaba cada artilugio y después leía la presentación que lo acompañaba (a menudo tan retorcidamente compleja e impenetrable como el aparato que pretendía describir). Su tarea era asegurarse de que estos dos elementos dispares tuvieran alguna relación entre sí y de que al menos uno de ellos fuera comprensible. Einstein descubrió que incluso los conceptos más complejos normalmente podían reducirse a un conjunto de principios simples y fundamentales. Fue una lección que nunca olvidaría.

Entretanto, Mileva y la bebé, Lieserl, permanecían a 960 kilómetros, en Novi Sad. Al parecer, Lieserl era una niña enfermiza y la propia Mileva tampoco estaba demasiado bien. La consiguiente historia de Lieserl y sus padres es una tragedia típica de la época, que no salió a la luz hasta la década de 1990 y que no se ha dilucidado aún. Parece que

los padres de Mileva prefirieron que diera a Lieserl en adopción, y poco podía hacer (o haría) Einstein al respecto. De modo que cabe preguntarse qué ocurrió con el primer hijo que llevaba los genes de una de las mentes científicas más prodigiosas de todos los tiempos. Lieserl parece haber desaparecido sin dejar rastro, aparte de un curioso episodio. Más de 30 años después, cuando Einstein era famoso en todo el mundo y vivía en Norteamérica, se enteró de que en Europa una mujer trataba de hacerse pasar por su hija ilegítima. Einstein no la quiso demandar a su vez y, en su lugar, discretamente contrató un detective privado para descubrir si era cierto... El final de esta historia no se conoce por completo. Si todo hubiera seguido su curso normal, Lieserl podría haber vivido al menos hasta la década de 1970. El editor de los trabajos de Einstein, el doctor Robert Schulmann, ha insinuado que una vez se hayan resuelto los problemas de la antigua Yugoslavia, quizá salgan a la luz nuevas pruebas, aunque el tiempo se empeña en contradecirle.

En diciembre de 1902, menos de un año después del nacimiento de su hija, Mileva Maric se marchó de Novi Sad sola y con destino a Suiza. Para todas sus amistades era obvio que había padecido una tristeza profunda, pero ella nunca reveló la causa. Por una mezcla de compasión, afecto y sentido del deber, Einstein había decidido casarse con Mileva. Los motivos de esta también eran variados, pero creyó que no tenía otro lugar al que dirigirse.

El 3 de enero de 1903, Albert y Mileva se casaron. Tras una comida de celebración con algunos amigos en un restaurante local, los recién casados salieron a la heladora noche para dirigirse al pequeño apartamento de Einstein en el número 49 de Kramgasse, a la vuelta de la esquina. Cuando llegaron, Einstein se dio cuenta de que había extraviado la llave. Esta es la típica anécdota que se cuenta normalmente en clase como clásico ejemplo de la excentricidad distraída de Einstein. Otros pueden inclinarse hacia una interpretación más freudiana.

Einstein tenía entonces 23 años y era muy pobre. Con el objeto de evitar enfrentarse a la difícil realidad, se enterró en sus investigaciones científicas. Esta actitud se convirtió en una constante: cuando las cosas se ponían feas, Einstein se encerraba en su mundo abstracto. Durante este periodo produjo varios trabajos científicos, algunos de los cuales se imprimieron en la prestigiosa revista *Annalen der Physik*. A Einstein le interesaba la termodinámica y desarrolló ciertos métodos estadísticos para analizar los movimientos del vasto número de moléculas que ocupa un volumen de líquido o gas comparativamente pequeño. Ninguno de estos trabajos son especialmente originales, y solo con percepción restrospectiva es posible ver algún indicio de los grandes descubrimientos que tendrían lugar posteriormente.

En 1904 Mileva dio a luz a su primer hijo varón, Hans Albert. Unos meses después, Besso, el viejo amigo de Einstein en Zúrich, también consiguió trabajo en la Oficina de Patentes. Esto significaba que ahora Einstein tendría alguien con quien discutir sus investigaciones científicas. Para entonces, sus ideas comenzaban a estar fuera del alcance de Mileva, y sus discusiones fueron reduciéndose drásticamente a causa de la maternidad. No era de extrañar que Mileva estuviera algo resentida por esta razón, y

Besso no siempre era bienvenido en Kramgasse 49. Por ello, Einstein tomó por costumbre discutir sus ideas con Besso cuando volvían del trabajo caminando, a menudo dando un rodeo.

Puede que los trabajos de Einstein que se publicaron no fueran de la mayor importancia, pero el alcance de sus inquietudes e intuiciones era decididamente original. En realidad eran tan originales que no veía el modo de expresarlas de una forma coherente, tal y como se quejaba a Besso durante sus paseos. Por entonces Einstein ya era consciente de que la física clásica estaba acabada. Espacio, tiempo y luz no se ajustaban a las definiciones de Newton. Era necesario hallar una explicación completamente nueva del universo.

Así eran las revolucionarias ideas que se estaban gestando en la cabeza de Einstein, y dedicó todo el tiempo que pudo a tratar de elaborarlas. No obstante, la vida en el hogar de los Einstein era muy poco propicia a una reflexión tan intensa y amplia como las mejores desde Newton. En la actualidad, el apartamento de Kramgasse 49 posee la calma aséptica de un pequeño museo dedicado a Einstein y a la teoría de la relatividad que concibió allí. Durante aquella época temprana, al calor de la creatividad y de la vida familiar, la atmósfera era en cierto modo más embriagadora. Las visitas recordarían el intenso hedor de la ropa y los pañales secándose, del tabaco de pipa de Einstein y del humo que rezumaba de la vieja estufa. En invierno hacía demasiado frío para abrir las ventanas; en verano, el calor intensificaba los olores. Se podía encontrar a Einstein sumergido en un libro, meciendo distraídamente con el pie al niño que berreaba en la cuna, mientras Mileva fregaba los cacharros en la pila. Alguna que otra vez, sus amistades se lo encontraban en la acera, inclinado entre la multitud, con su cuaderno abierto de par en par sobre el cochecito del niño, sumergido en un largo cálculo al tiempo que el bebé le golpeaba en la cabeza con el sonajero.

Toda esta concentración obsesiva alcanzó un repentino y espectacular clímax en 1905. Iba a tratarse del *annus mirabilis* de Einstein. A lo largo de ese año envió cuatro trabajos a *Annalen der Physik*, que cambiaron literalmente el mundo.

El primer trabajo que apareció en *Annalen der Physik* fue «Un punto de vista heurístico sobre la producción y la transformación de la luz» *(Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtpunkt)*. El propio Einstein se dio cuenta de que este trabajo de diecisiete páginas era «muy revolucionario» y, de hecho, transformaría por completo nuestro conocimiento sobre la naturaleza de la luz, hasta tal punto que la física nunca volvería a ser la misma.

Con el objeto de comprender la importancia del trabajo de Einstein, debemos en primer lugar remontarnos a la historia científica de la luz. Desde la época de la Grecia antigua, los filósofos y los científicos habían creído que la luz estaba formada por diminutos granos de materia. Con la invención del telescopio a comienzos del siglo XVII, esta idea se puso en tela de juicio. En 1678, el astrónomo y físico holandés Christiaan Huygens dio a entender que en realidad la luz estaba compuesta por ondas. Pero tal y como objetó un crítico contemporáneo: «¿Cómo podrían las olas del mar desplazarse sin salmuera?». En otras palabras, las ondas siempre requieren una sustancia o «medio» que

las transmita. Las ondas de luz podían propagarse a través del aire, el agua y el cristal, pero, ¿cómo viajaban a través del espacio o del vacío? Huygens propuso la idea de una sustancia invisible que lo impregna todo llamada éter. Más tarde esta idea se amplió y se concluyó que se trataba de una entidad ingrávida y estática que impregnaba el universo entero.

En 1704 Isaac Newton publicó la *Óptica*, su gran trabajo sobre la luz, en el cual describe, de manera exhaustiva, todos los comportamientos y cualidades de la luz. Para explicar estas múltiples propiedades propuso una teoría corpuscular, según la cual la luz está formada por partículas de algún modo inducidas por ondas. Por desgracia, Newton no fue capaz de hallar una explicación convincente que aunara estos dos elementos aparentemente contradictorios.

La teoría ondulatoria de la luz recibió gran impulso en el siglo posterior gracias al trabajo dirigido por el físico escocés James Clerk Maxwell, que moriría en 1878, un año antes de que naciera Einstein. En la década de 1860, Maxwell calculó que tanto la fuerza eléctrica como la magnética debían propagarse a través del espacio aproximadamente a la velocidad de la luz. De inmediato dedujo que la luz también era una forma de radiación electromagnética que se propagaba en ondas por medio del éter. Además, sostenía que la longitud de onda de la luz solo ocupaba una pequeña parte del espectro de las ondas electromagnéticas, y pronosticó que pronto se descubrirían otros tipos de ondas electromagnéticas con diferentes longitudes de onda.

El físico alemán Heinrich Hertz confirmó estos hallazgos en 1888 al descubrir las ondas radiofónicas, las cuales actuaban precisamente del mismo modo que el calor y la luz, y todas mostraban cualidades ondulatorias. Hertz fue el primero que emitió y recibió las recién descubiertas ondas radiofónicas, pero desgraciadamente murió por envenenamiento en la sangre en 1894, antes de que pudiera encontrar un uso a su descubrimiento. Fue el físico italoirlandés G. Marconi el que desarrollaría la aplicación práctica del descubrimiento de Hertz. El trabajo de Hertz corroboró posteriormente la teoría ondulatoria de la luz al confirmarse la sospecha de Maxwell de que la fuerza eléctrica y la magnética se propagaban a través del éter a la misma velocidad que la luz.

Por desgracia, en aquel momento algunos empezaron a dudar del éter, en el que parecía apoyarse toda la teoría ondulatoria de la luz. El éter no solo tenía que llenar todo el espacio e impregnar todos los cuerpos, sino que además tenía que ser uniforme y rígido de un modo consecuente, si tenía que transmitir ondas de luz.

En 1887, el científico naval norteamericano Albert Michelson y su colaborador Edward Morley hicieron un experimento con el propósito de medir la velocidad de la Tierra. Esperaban hacerlo demostrando el efecto del movimiento de la Tierra a través de éter estático. Pero descubrieron que no había tal efecto, lo que llevó a los observadores a empezar a cuestionarse la existencia del éter. A pesar de su capacidad para impregnarlo todo, ¿alguien había encontrado alguna vez una prueba real que demostrara la existencia de esta sustancia escurridiza?; ¿alguien había siquiera registrado su presencia en algún experimento? No obstante, si no era éter, ¿qué otro medio transportaba las ondas de la luz a través del espacio?

A pesar de todo el trabajo de Maxwell y la confirmación aparentemente concluyente de Hertz, empezaron a surgir pruebas nuevas que parecían contradecir la teoría ondulatoria de la luz. Se observó un efecto fotoeléctrico cuando la luz chocaba contra ciertos sólidos. Este efecto estaba causado por una emisión de electrones. En particular, se descubrió que cuando la luz ultravioleta chocaba contra ciertos metales provocaba una emisión de electrones mensurable. El físico alemán Philipp Lenard explicó este hecho al sugerir que la luz, al incidir, separaba a estos fotoelectrones (así se conocían) del metal. Si ese era el caso, un aumento de luz seguramente provocaría un aumento en la velocidad de los electrones dispersos. Pero esto no ocurrió; en su lugar, se desprendió un mayor número de electrones pero a la misma velocidad. Entonces Lenard descubrió algo aún más raro. Cuando alteró el color de la luz (o, dicho de otro modo, cambió su frecuencia de onda) *esto último* afectó a la velocidad de los electrones desprendidos. A medida que se aumentaba la frecuencia, aumentaba la velocidad de los electrones desprendidos.

Además de estos, el físico alemán Max Planck investigó en Berlín otros fenómenos relacionados que indicaban discrepancias en la teoría ondulatoria. Emprendió una descripción matemática de estos fenómenos que condujo a unos resultados cada vez más asombrosos, los cuales parecían contradecir los principios básicos de la física clásica tal y como se habían entendido desde la época de Newton, doscientos años antes.

El 14 de diciembre de 1900 Planck llegó a una conclusión trascendental. Más tarde, ese mismo día, mientras paseaba por el bosque de Grunewald, cerca de Berlín, le anunció a su joven hijo: «Hoy he hecho un descubrimiento tan importante como el de Newton [...] he dado el primer paso que traspasa la barrera de la física clásica». De acuerdo con los hallazgos de Planck, cuando la luz chocaba con la materia no era absorbida o propagada en una ráfaga continua, tal y como sugería el sentido común (así como la teoría ondulatoria y la *teoría corpuscular de la luz*). En su lugar se propagaba o absorbía en explosiones separadas de energía, algo muy parecido a lo que ocurría con las partículas. A estas explosiones separadas de energía las llamó «cuantos», que proviene del latín *«quanta».* El tamaño de estos cuantos estaba relacionado con la frecuencia de onda de la luz.

Al parecer, la luz se contradecía a sí misma al constar, al mismo tiempo, de ondas y partículas. Esto era literalmente inconcebible y Planck se negó a seguir adelante; defendía que su teoría solo describía la *relación* entre materia y luz. No se aplicaba a la *naturaleza* de la propia luz. Estaba seguro de que las explosiones discontinuas de energía –los cuantos– de alguna manera se unían para convertirse en ondas cuando se desprendían de la materia. Pero no fue capaz de explicar cómo ocurría. La teoría cuántica se había gestado, pero incluso para su autor era en gran parte inexplicable.

Fue Einstein el que finalmente propuso una solución a este problema. Planck, de modo muy parecido a sus cuantos, era contradictorio: tenía razón y se equivocaba al mismo tiempo. La existencia de los cuantos explicaba la luz en relación a la materia; pero iba más lejos, explicaba además la auténtica naturaleza de la luz. Einstein formuló su idea en su histórico trabajo de 1905 titulado «Un punto de vista heurístico sobre la producción y

la transformación de la luz». El propio Einstein pudo haber pensado que era «muy revolucionario», pero permaneció indeciso de una manera extraña. Admitió que su visión era «irreconciliable con los principios establecidos [...] quizá, en última instancia, incluso era insostenible».

Según Einstein, para ciertos fines, había que considerar que la luz estaba formada de partículas independientes, como si de un gas se tratara, pero con *masa cero* en reposo. En estos casos la luz estaba formada por cuantos (que después se llamarían fotones). Pero además había otros casos en los que la luz exhibía un comportamiento ondulatorio, y entonces había que considerar que estaba formada únicamente por ondas.

Planck había detectado una nueva anomalía que traspasaba la frontera de la física clásica. La solución de Einstein supuso el final definitivo de la visión clásica de la física en lo que a la luz respecta; peor aún, desafiaba las leyes de la lógica. Se suponía que la luz era dos cosas que se contradecían: ¿cómo podía haber algo que estuviera formado por partículas discretas y al mismo tiempo fuera una onda con una longitud de onda mensurable? La ciencia había entrado en una nueva era, más allá del sentido común. En casos como este, la ciencia no buscaba necesariamente entender qué estaba ocurriendo, sino describirlo, por caminos (contradictorios o no) que podían *utilizarse* para explicar fenómenos y determinar el saber futuro.

El «punto de vista heurístico» de Einstein (que se basaba en la observación de fenómenos más que en teorías generales) explicaba el efecto fotoeléctrico y justificaba la ausencia del éter. Los cuantos de luz actuaban como partículas que, al contrario que las ondas, no requerían ningún medio para propagarse. Tal y como muchos habían sospechado durante cierto tiempo, ya no se necesitaba esa sustancia escurridiza. (El experimento mal pergeñado que Einstein realizó en la universidad para detectar el éter pudo haber estallado y dañarle la mano pero ahora, por fin, se salía con la suya aboliendo el éter por completo.)

La nueva teoría de la luz de Einstein también explicaba ciertas anomalías que habían aflorado en la física clásica. Una idea tan mecánica del mundo no era, evidentemente, la definitiva. Aunque la idea de la luz de Einstein guardaba un curioso parecido con la imprecisa formulación que había realizado Newton 200 años antes, representó el comienzo del final de la física de Newton. El razonamiento físico-matemático de Einstein preparó el terreno a la teoría cuántica y logró que el concepto original de Planck (los cuantos) fuera fundamental para entender la auténtica naturaleza de la luz.

Sin embargo, Planck no lo entendió así. Se mantuvo en sus trece y defendía que los cuantos solo se atribuían a la luz en relación con la materia. Todavía en 1912, Planck seguía atacando el «punto de vista heurístico» de Einstein en sus conferencias en la Universidad de Berlín. Y no era el único. Pocos científicos estaban en disposición de creer en la posibilidad de que la ciencia pudiera desafiar a la lógica de este modo. Hasta 1915 la teoría de la luz de Einstein no empezó a ganar aceptación, ya que las evidencias a favor, fruto de los experimentos, la hacían cada vez más irrefutable. En la década de 1920, la teoría cuántica empezó a surgir como uno de los mayores adelantos del siglo XX. Planck obtuvo el Premio Nobel en 1919 y Einstein dos años después. (Einstein

recibió esta máxima recompensa por sus trabajos sobre la luz y los cuantos, no por la teoría de la relatividad.) En el terreno práctico, la teoría de la luz de Einstein iba a desempeñar un papel destacado en la invención de la televisión. Pero su aplicación más notoria hoy, quizá sea la «célula fotoeléctrica» que abre puertas automáticamente. De niño, Einstein había permanecido despierto acostado en la cama preguntándose el modo en que la fuerza magnética atravesaba el espacio: veinte años después, la explicación que dio sobre este fenómeno transformó la física.

«Una nueva determinación del tamaño de las moléculas» *(Eine neue Bestimmung der Molekuldimensionen)* es el segundo trabajo que apareció en el famoso volumen 17 de las *Annalen der Physik* (un raro ejemplar del cual se rumorea que cambió no hace mucho de manos por más de 10.000 dólares). El segundo trabajo de Einstein resume un método para describir una molécula del azúcar. De este trabajo se ha dicho con acierto que es como «un pececillo entre las ballenas de los otros tres trabajos».

Tras concluir este entretenimiento, Einstein reanudó su dedicación a materias más fundamentales. Su siguiente trabajo se llamó «Sobre el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario, según la *teoría cinética del calor*» *(Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen)*. El estudio del turbio líquido a duras penas podía suponer un terreno prometedor que irrumpiera como algo extraordinario en los descubrimientos científicos, pero la propensión de Einstein a llegar hasta la misma raíz del problema hizo que fuera de otro modo.

Una vez más, es necesario hacer un poco de historia. En 1828, el naturalista escocés Robert Brown empezó a observar las partículas de polen que quedaban suspendidas en el agua durante sus investigaciones botánicas. Cuando lo estudiaba bajo la lupa de un microscopio, percibió que cada una de las partículas del polen mostraba un continuo movimiento en zigzag aparentemente aleatorio: era como si estuvieran vivas. Pero cuando sustituyó el polen orgánico por un polvo inorgánico, observó exactamente el mismo efecto. Al parecer Brown había tropezado con un ejemplo de un imposible científico: el movimiento perpetuo. Brown se quedó perplejo ante este fenómeno, llamado movimiento browniano tras él, que siguió desconcertando a la comunidad científica a lo largo del siglo XIX.

Cuando Einstein estudió el movimiento browniano estaba intrigado por su aparente desafío a las leyes de la física y apareció con una solución característicamente original y osada. De acuerdo con la teoría del calor de la cinética molecular, las moléculas invisibles del líquido estaban en movimiento, el cual se intensificaba a medida que aumentaba la temperatura del líquido. En opinión de Einstein, el comportamiento aparentemente aleatorio de las partículas suspendidas en realidad se debía a que eran bombardeadas por las moléculas invisibles que constituían el líquido. Se trataba de una propuesta muy atrevida, ya que muchos científicos reputados seguían convencidos de la inexistencia de moléculas y átomos. (Estas entidades seguían desafiando toda tentativa de dejarse ver. Al igual que con el evasivo éter, nadie había visto todavía una molécula.) Pero Einstein fue más allá y emprendió la *demostración* de la existencia de estas

moléculas invisibles. Utilizando la dinámica estadística, incluso predijo el número exacto de moléculas en cualquier cantidad determinada de líquido.

El más simple resumen del modo en que se las arregló para realizarlo ofrece una idea de las complejidades que implicaba. Un objeto en agua (o en cualquier líquido o gas) sufre el continuo bombardeo de las moléculas de ese líquido o gas. Gracias al trabajo del azar, la cantidad de moléculas que bombardean un objeto grande desde todos los flancos se igualará, y el objeto no resultará desplazado. Sin embargo, un objeto mucho más pequeño, como una partícula de polen, es susceptible de ser empujada primero en una dirección y después en otra, a causa de un ligero exceso de moléculas que le bombardean desde unas direcciones con respecto a las que lo hacen desde otras. Einstein propuso una fórmula para describir este efecto. Según esta, el desplazamiento medio de las partículas visibles en cualquier dirección aumentaba del mismo modo que la raíz cuadrada del tiempo de observación. Si se medía la distancia que recorrían las partículas en ese tiempo, entonces se podía calcular el número de moléculas invisibles dentro de cierto volumen de líquido o gas. De este modo, Einstein calculó que un gramo de hidrógeno contiene $3{,}03 \times 10^{23}$ (es decir, más de 3 millones de millones de millones de millones) moléculas.

El trabajo de Einstein no solo comenzó a probar la existencia de las moléculas, sino también a demostrar la densidad de su presencia y cómo predecir su comportamiento.

La demostración teórica de Einstein se confirmaría tres años después en los experimentos prácticos dirigidos por el físico-químico francés Jean Perrin. Los experimentos sobre el movimiento browniano de la gutagamba (una resina amarillenta) en agua que dirigió Perrin fueron la primera demostración práctica de la existencia física de átomos. Sus experimentos también revelaron la extraordinaria precisión de los cálculos puramente teóricos de Einstein.

Esta confirmación práctica de la obra de Einstein denota un rasgo esencial de su metodología. Se trataba de un nuevo acercamiento científico propio del siglo XX, tan característico como lo fueran a su modo el cubismo y la música atonal. El siglo XIX había sido testigo del desarrollo de muchas ramas de la ciencia desde su infancia hasta la plena madurez. Durante este periodo, el método científico había sido en gran parte empírico. Se habían logrado avances radicales a través de la experimentación, la observación y la utilización de aparatos ingeniosos. Pero el método de Einstein no era experimental, sino todo lo contrario. En el fondo seguía siendo un teórico impenitente. La experimentación revelaría posteriormente, que los hechos se ajustaban a la teoría. El antiguo método de elaborar teorías basadas en hechos que se apoyaban en pruebas experimentales era un proceso demasiado lento y prosaico para Einstein. Su mente prefería adelantarse y enfrentarse a la posibilidad última, mucho más allá de la esfera de la experimentación.

Einstein no estaba solo al tomar este camino, puesto que se iba a convertir en el método del siglo venidero. (Mucho antes de que fueran una realidad, se demostró, con cierto detalle, que las explosiones atómicas y las naves enviadas a la luna eran posibles en teoría.) Ahora, se trataba del genio de la regla de cálculo en la vanguardia científica, en lugar del sabio en el laboratorio.

En sus anteriores trabajos Einstein había demostrado la naturaleza de la luz y la existencia de los átomos, dos entidades fundamentales. Al hacerlo había transformado completamente la visión científica del mundo. Estas intuiciones únicas habrían bastado para situarle como una de las mentes científicas pioneras de su época. Pero fue aún más allá. Combinó sus intuiciones acerca de estos mundos microcósmicos y elaboró una teoría macrocósmica que trasformó el universo. Este hallazgo le situaría entre los intelectos más productivos de la historia de la humanidad (junto con personajes como Newton y Beethoven).

Einstein tenía solo 26 años y, aparentemente, era un pobre funcionario de baja categoría en la Oficina de Patentes de Berna. Puede que desarrollara el trabajo científico en su tiempo libre pero nadie, de ningún modo, ni siquiera la comunidad académica local, reconocía su talento.

A lo largo de su *annus mirabilis* Einstein trabajó en auténtica soledad. Poco más de dos siglos antes, Newton había experimentado un año parecido de creatividad milagrosa, durante el cual él también produjo la mayor parte de su trabajo más importante. Tenía aproximadamente la misma edad que Einstein, y para huir de la peste vivía aislado en el campo. Pero Newton no tenía que ir a trabajar cada día y no vivía en un pequeño apartamento con una esposa y un bebé. La proeza intelectual de Einstein parece no tener parangón en la historia de la humanidad. La justificación de esta hipérbole solo resulta evidente con el advenimiento de su cuarto trabajo.

Durante un tiempo Einstein había estado barajando la posibilidad de enfrentarse a formulaciones físicas de gran envergadura. Sin duda tenía que existir un patrón elemental e invariable con el que se pudieran medir todas las cantidades variables. De otro modo, todo se convertía en algo meramente relativo, que dependía del punto de referencia del espectador.

Contrariamente a la imagen popular que se tiene de él, Einstein no meditaba sobre estos temas en un profundo trance contemplativo (durante el cual tenían lugar todo tipo de excentricidades distraídas). Einstein prefería cultivar esta imagen entre sus colegas, pero la verdad no era tan sencilla. Era un pensador apasionado que en privado admitía que esas largas etapas en las que se sumía en pensamientos teóricos profundos le provocaban una «tensión psíquica [...] acompañada por todo tipo de conflictos nerviosos». En la primavera de 1905 Einstein se sorprendió sumido en la crisis mental más turbulenta que jamás había experimentado.

Cuando regresaba a casa caminando desde la Oficina de Patentes sometía a prueba sus ideas con Besso, pero pronto se hizo evidente que sus pensamientos se encaminaban hacia un terreno en el que los comentarios de Besso no le servían. Einstein se aficionó a deambular por las calles y soportales medievales de Berna, a menudo vagando distraídamente al otro lado del río y adentrándose en el campo de los alrededores. En cierta ocasión solamente volvió en sí cuando se descubrió caminando por una vereda empapado hasta los huesos en medio de una tormenta de rayos y truenos.

Parte del talento excepcional de Einstein residía en su capacidad para examinar a fondo las fórmulas y problemas más complejos hasta llegar a los principios fundamentales en

los que se apoyan. A partir de estos trataría de obtener todo tipo de deducciones, en busca de otros principios aún más fundamentales. Durante la primavera de 1905, a causa del esfuerzo mental constante que todo esto requería, Einstein estuvo al borde del colapso mental. Estaba agotado, tanto física como mentalmente. No podía comer adecuadamente, ni tampoco dormir. Y lo que es peor, independientemente de su concentración mental, sus pensamientos permanecían dispersos. Por mucho que se esforzara, las piezas eran incompatibles. Se resistían a converger en una teoría consistente que él presentía que estaba ahí. En alguna parte. Había llegado a un callejón sin salida: parecía imposible avanzar. Un día, cuando regresaba a casa desde la Oficina de Patentes caminando con Besso, finalmente confesó: «Renuncio: he decidido abandonar. Toda la teoría».

Esa misma noche se acostó en la cama desesperado; al mismo tiempo era consciente de una curiosa sensación de alivio. Permaneció aturdido, ni despierto ni dormido. Al día siguiente volvió en sí extremadamente confuso. «Una tormenta se desató en mi cabeza», dijo para describirlo. Y en mitad de esta tormenta, de pronto aprehendió la idea que le había evitado durante tanto tiempo. Según sus propias palabras, fue como si hubiera accedido a los «pensamientos de Dios».

No se trataba de una comunicación personal con el Supremo. Einstein siempre insistió en que no creía en un dios personal. Pero, al igual que muchas mentes pioneras de su época (como Picasso, Wittgenstein e incluso Freud de vez en cuando) continuaba utilizando la palabra Dios asociada a grandes verdades que residen en el mismo límite del entendimiento humano. El hecho de mencionarlo parecía evocar un sentimiento de temor implícito. Al parecer, tanto Einstein como Picasso experimentaron ese profundo sentimiento de admiración del que hablaban los grandes filósofos, desde Platón hasta Kant.

Einstein describió lo que había comprendido del modo siguiente: «La solución se me presentó de repente, con la idea de que nuestros conceptos y leyes sobre el espacio y el tiempo únicamente pueden ser válidos en la medida en que permanezcan en clara relación con nuestra experiencia; y esa experiencia podría provocar perfectamente la alteración de esos conceptos y leyes. Al revisar el concepto de simultaneidad y hacerlo más maleable llegué hasta la teoría especial de la relatividad». Este sencillo resumen puede parecer fácil de entender (si lo examinamos a fondo), pero el argumento físico-matemático y las fórmulas implicadas que tratan de demostrarlo no lo son. Einstein los puso por escrito en un trabajo de 31 páginas titulado «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento» (o en su histórico título alemán: *Zur Electrodynamik bewegter Körper*).

Para entender la teoría especial de la relatividad (tal y como la llamó él) lo primero que uno debe tener presente es el sistema newtoniano al que reemplaza. De hecho, continuamos contemplando el mundo, en lo cotidiano, a partir de este sistema newtoniano. Según Newton todo, desde los planetas en órbita hasta la manzana que cae, está sujeto a la misma ley: la fuerza de la gravedad. El mundo se rige por la lógica y sus leyes son coherentes independientemente del lugar y las circunstancias en que se

apliquen. Los cimientos de este mundo en el que rige el sentido común son el espacio y el tiempo. Tal y como Newton lo expuso de un modo tranquilizador en sus *Principia:* «El tiempo verdadero, absoluto y matemático, por sí mismo y por su propia naturaleza, fluye de un modo uniforme, no está relacionado con nada externo, y se conoce bajo el nombre de duración». Asimismo, «el espacio absoluto, en su propia naturaleza, sin relación con nada externo siempre permanece parecido e inmóvil». Dicho de otro modo, el espacio y el tiempo son absolutos. Y así parecía.

Siempre que alguien osaba cuestionar a Newton en esta materia, les remitía a Dios. Así eran las cosas. Simplemente se trataba del modo en que las cosas se habían ordenado. Pero, ¿por qué?, ¿cómo lo sabía Newton? El deber de la investigación científica es formularse este tipo de preguntas. Pero Newton imponía tal autoridad que pocos se atrevían a cuestionarle. El ataque iba a venir de un frente distinto. Incluso cuando las pruebas experimentales comenzaron a revelar discrepancias sobre el concepto newtoniano del universo, al principio solamente unos pocos pensaron en cuestionar toda la estructura de la física clásica.

La física clásica de Newton resolvía bastante satisfactoriamente el movimiento relativo. Un marinero tumbado en una hamaca podría creer que está parado con respecto a su barco; pero para alguien que observa desde la orilla el barco en movimiento, el marinero tendría una velocidad relativa. Del mismo modo, el observador estacionario de la orilla adquiriría gran velocidad relativa si se observara desde el espacio exterior, puesto que adquiriría la velocidad de la Tierra moviéndose por el espacio. Pero aquí se detenía la relatividad, ya que el espacio era estático e inmóvil (al igual que el evasivo éter que lo llenaba): este era el modelo de referencia absoluto, junto con el tiempo absoluto.

Hasta la década de 1860 no se plantearon serias dudas sobre este estado de cosas, y fue gracias a la teoría de las ondas electromagnéticas de la luz de Maxwell (que había desempeñado un papel tan importante en el trabajo de Einstein sobre la luz). La teoría de Maxwell revelaba un problema en la mecánica clásica de Newton relativo a la velocidad de la luz sobre los objetos en movimiento. La velocidad de la luz, ¿sería independiente de la velocidad del observador o la velocidad de su fuente? Parece que esto se confirmó en el famoso experimento que realizaron Michelson y Morley en 1887 para medir la velocidad de la Tierra a través del éter. Como ya hemos visto, esto planteó dudas sobre la existencia del éter estático que lo impregnaba todo. Pero hizo mucho más que eso. Esencialmente la intención era medir la velocidad de la luz (s) y después medir la velocidad de la luz al chocar con la Tierra en la dirección del movimiento de la Tierra. Esta sería la velocidad de la luz menos la velocidad del movimiento de la Tierra (s-m). Se restan, y el resultado es la velocidad de la Tierra: s-(s-m)=m. Aunque resulte sorprendente, se descubrió que la velocidad de la luz era la misma en ambos casos. La velocidad de la Tierra parecía no influir en la velocidad de la luz. Pero no podía ser correcto. Desafiaba el sentido común (por no hablar de la física newtoniana).

Por esa misma época, Mach comenzaba a cuestionar las ideas de Newton sobre el espacio absoluto y el tiempo absoluto. La insistencia de Mach en las pruebas y hechos

basados en experimentos redujo aquellos a «puros conceptos mentales que no se pueden llevar al terreno de la experiencia».

Antes de llegar al final del siglo, el matemático más importante de la época, el francés Henri Poincaré, también planteó dudas sobre las nociones del espacio y del tiempo absolutos. De una manera ingeniosa, argumentó que si una noche, mientras todo el mundo dormía, el tamaño del universo de pronto fuera mil veces más grande, el universo seguiría pareciendo absolutamente el mismo. ¿Cómo podríamos explicar lo que había ocurrido? ¿Cómo podríamos medir este cambio de dimensión? Simplemente, no podríamos. El concepto de espacio depende, de este modo, del marco de referencia desde el que se mide. La física clásica estaba entrando en crisis; Poincaré era muy consciente de ello, y sugirió: «Quizá debiéramos construir una mecánica nueva por completo en la que [...] la velocidad de la luz sería un límite infranqueable». Poincaré se abstuvo de dar ese paso que amenazaba con arrojar todo el pensamiento científico al caos. Pero Einstein no.

Fue Einstein el que finalmente halló una solución a muchas de las anomalías que por entonces se habían detectado en la física clásica. El logro de Einstein fue exponer una teoría que no solo clarificaba estas anomalías, sino que en el proceso planteó una explicación del universo completamente nueva. Esencialmente propuso que la velocidad de la luz a través del espacio es constante, con independencia de que la fuente de luz o el observador estén en movimiento o no. Al mismo tiempo vino a decir que no hay nada similar al movimiento absoluto. Y esto quiere decir que no hay nada similar al reposo absoluto. En tal caso, toda velocidad es relativa según el marco de referencia particular (aunque la velocidad de la luz, al ser constante, será siempre la misma sea cual fuere la referencia).

Hasta aquí todo va bien: la primera propuesta explicaba el experimento Michelson-Morley, y la segunda propuesta justificaba las anomalías que señalaba Poincaré. Pero es bastante evidente que las dos propuestas de Einstein parecen contradictorias. ¿Cómo es posible que no exista el movimiento absoluto si la velocidad de la luz es *siempre* la misma?

Einstein estaba en lo cierto. Había una manera de demostrar que ambas propuestas podían ser ciertas. Esto significaría aceptar que tanto el espacio como el tiempo eran relativos. Pero, ¿cómo era posible que así fuera? Poincaré había demostrado que el espacio era relativo; y oculto tras su ejemplo de un universo mil veces más grande estaba implícito que el tiempo también era relativo. Einstein lo confirmó y confrontó sus impresionantes implicaciones.

Según Einstein: «Todas nuestras apreciaciones en las que el tiempo desempeña un papel son siempre opiniones sobre *acontecimientos simultáneos*. Por ejemplo, cuando digo: “El tren llega hoy a las siete en punto”. Lo que en realidad quiero decir es algo así como: “La manilla de mi reloj apuntando al siete y la llegada del tren son acontecimientos simultáneos”». Einstein sugirió la posibilidad de vencer esas dificultades simplemente sustituyendo «la posición de la manilla de mi reloj» por la palabra «tiempo». Y esto es adecuado cuando hablamos solo del lugar en el que está

situado el reloj. «Pero no vale cuando tratamos de conectar en el tiempo un número de acontecimientos que ocurren en distintos lugares», explicó Einstein. «Tampoco es satisfactorio para conectar los tiempos de acontecimientos que ocurren en lugares alejados del reloj.»

Einstein siempre prefirió la teoría al experimento. También prefería el razonamiento a las matemáticas. La primera parte de su trabajo sobre la teoría especial de la relatividad está punto menos que desprovista de fórmulas matemáticas, y estas, de ningún modo, conforman el grueso de las demás partes. Uno de los puntos fuertes de Einstein residía en su capacidad para visualizar del modo más simple situaciones matemáticas complejas. Por ejemplo, sus reflexiones sobre la relatividad se habían estimulado un día cuando viajaba en tranvía al trabajo, mientras contemplaba distraídamente la calle al pie de la famosa Torre del Reloj medieval de Berna. ¿Qué habría visto si el tranvía hubiera viajado a la velocidad de la luz? Según la teoría especial de la relatividad que estaba desarrollando, parecería que el reloj de la torre se había parado. Mientras tanto, el reloj de su bolsillo continuaría avanzando (aunque en realidad se moviera más despacio. Una consecuencia de la teoría de Einstein era que a medida que la velocidad se acercaba a la velocidad de la luz, el tiempo iba más despacio y se detenía por completo cuando alcanzaba la velocidad de la luz). Cuando las velocidades alcanzaban la velocidad de la luz, el tiempo difería según el observador.

No obstante, esto plantea una objeción obvia: ¿qué ocurre con el tiempo «real»? La Torre del Reloj y su reloj deberían coincidir obviamente en tiempo «real». Pero tal y como ya había argumentado Einstein, el tiempo «real» no existe. El tiempo absoluto no existe. El tiempo depende únicamente del punto desde el que se mide. *No se puede medir de otro modo*.

Esto da pie a algunas posibilidades inquietantes. Tomemos la «Paradoja de los Gemelos». Un gemelo se queda en casa mientras el otro emprende un largo viaje espacial a una velocidad cercana a la de la luz. Según Einstein, cuando el gemelo astronauta regrese será más joven que su hermano (su tiempo habrá disminuido a lo largo de su viaje, mientras que el gemelo estacionario habrá continuado con su tiempo «normal»).

Tras concluir su trabajo sobre la teoría especial de la relatividad, Einstein comenzó a resolver sus implicaciones matemáticas. Estas indicaban algunos resultados aún más sorprendentes, en especial cuando el principio de la relatividad se aplicaba a las ecuaciones que Maxwell había elaborado para su teoría electromagnética de la luz. Einstein demostró que cuando una partícula viaja a una velocidad cercana a la de la luz, su masa aumenta y requiere cantidades de energía cada vez mayores para propulsarla.

Hacia 1906 Einstein se percató de algo crucial que, además de profundizar en la naturaleza de los cuantos, apuntaba a un descubrimiento aún más sensacional. Al parecer, los cuantos de luz eran partículas simples que, de algún modo, se habían librado de su masa y se habían convertido en una forma de energía que viajaba a la velocidad de la luz. La masa, la energía y la velocidad de la luz, de algún modo, estaban vinculadas.

Pero ahora Einstein iba a pagar la arrogancia de sus años de estudiante: sencillamente

no podía abrirse paso entre el proceso matemático que requería el desarrollo de su teoría. Le llevó casi dos años –en los que realizó grandes progresos obstaculizados por falta de técnica y meteduras de pata ocasionales– desarrollar su famosa fórmula que encerraba el vínculo que él sabía que existía. Según esta: $E = mc^2$, en la que *E* es energía, *m* es masa y *c* es la velocidad de la luz. Esta fórmula estremeció literalmente la Tierra. Implicaba que la materia es energía solidificada y que si, de algún modo, la masa se podía convertir en energía, una cantidad diminuta de masa liberaría una cantidad de energía prodigiosa. La velocidad de la luz es de aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo. Así, una unidad de masa liberará 90.000.000.000 unidades de energía.

Esto encerraba la clave de varias cuestiones que habían preocupado a los científicos durante algún tiempo. Por ejemplo, parecía explicar cómo era posible que el Sol y las estrellas hubieran podido radiar unas cantidades tan enormes de calor y luz durante millones de años. De algún modo, su materia se estaba transformando en energía. Pero, ¿cómo? Los experimentos que llevó a cabo la física polacofrancesa Marie Curie en 1898 habían revelado que una onza (28,35 gramos) de radio despedía 4.000 calorías por hora indefinidamente. El radio era un elemento radiactivo; era inestable y se desintegraba para convertirse en radón, liberando energía en el proceso. La fórmula de Einstein explicaba *qué* era lo que ocurría; Madame Curie indicó *cómo* ocurría. Pero hubo que esperar 25 años para que la fórmula de Einstein pudiera verificarse. Einstein creyó que su famosa fórmula era el descubrimiento más importante que se derivaba de su teoría especial de la relatividad, pero en aquellos tempranos días no tenía la menor idea de su aplicación.

Regresemos a 1905. Einstein finalizó su trabajo sobre la teoría especial de la relatividad y lo envió a *Annalen der Physik,* revista en la que se publicó el 26 de septiembre de 1905. Como cualquier joven que acaba de presentar lo que considera la labor de un genio consumado, se sentó a esperar el aplauso del mundo entero. Pero tales panegíricos son escasos y se dan en grandes intervalos, al mismo ritmo que los genios genuinos, aunque, lamentablemente, ambos coincidan raras veces. Y esta no iba a ser una excepción.

Durante varios meses no ocurrió nada. ¿Había cometido algún simple error de cálculo? ¿Pero estaba completamente seguro de que no había cometido algún error en sus tres trabajos más importantes? Tras el final del verano llegó el otoño, y tras el otoño llegó el invierno. Una vez más, Einstein empezó a cortar leña y a cargar sacos de carbón para alimentar la humeante estufa. Después, en Año Nuevo, recibió una carta de Max Planck en la que este le pedía aclaraciones sobre algunos cálculos de su trabajo sobre la relatividad. Einstein supo enseguida que uno de los más destacados científicos de la época había reconocido la importancia de su trabajo. Con toda seguridad, a este le seguirían otros reconocimientos. Sin embargo, y a pesar de esto, llegarían lentamente. Las ideas de Einstein eran tan revolucionarias y tan contrarias al sentido común que muchos no se las tomaron en serio (o simplemente no eran capaces de entenderlas). No era fácil para los físicos aceptar el final de la física tal cual la habían conocido.

Mientras tanto, Einstein continuaba trabajando en la Oficina de Patentes y, ocasionalmente, paraba en una cafetería a discutir sus ideas con Besso frente a una taza

de café. La cafetería resultó ser un lugar predilecto frecuentado por el cuerpo facultativo de ciencias de la universidad, pero los académicos de las otras mesas seguían sin reconocer los méritos de Einstein, quien por entonces trataba de expandir su teoría de la relatividad para explicar la gravitación. Esta tarea era casi tan compleja y ambiciosa como el propio concepto de relatividad, pero concernía a un asunto sobre el que había pensado mucho y con ahínco desde hacía varios años.

Uno de los primeros en reconocer el trabajo de Einstein fue Minkowski, su antiguo profesor de matemáticas en la Politécnica de Zúrich (el que le había llamado perro vago). De hecho, el trabajo de Einstein estaba empezando a pagar su falta de aplicación matemática durante sus años de estudiante. La teoría especial de la relatividad dejaba muchos cabos sueltos y muchos caminos por explorar, varios de los cuales eran más matemáticos que físicos.

Para empezar, quedó claro que la geometría tridimensional ya no podía describir el universo. Se requería una nueva forma de geometría. En 1907, Minkowski escribió un libro llamado *Espacio y tiempo* en el que constataba que el tiempo debía tratarse como una cuarta dimensión. Demostró que no era posible considerar la existencia del espacio y del tiempo por separado. El tiempo no existía aparte del espacio al que se refería; del mismo modo, el espacio no existía más que en el tiempo. Había que contemplar el universo como algo que se basaba en la fusión «espacio-tiempo». Minkowski también elaboró las matemáticas que respaldaban esta idea.

Todo esto sirvió tanto de inspiración como de acicate para Einstein. Otros estaban invadiendo su territorio. Pero los cálculos de Minkowski le proporcionaron una capacidad de análisis profunda. De pronto vio cómo podía incorporar la gravitación al concepto de relatividad. Newton había considerado que la gravedad era la fuerza que atraía unos objetos hacia otros. Pero, ¿qué ocurría si, en su lugar, los objetos se movían dentro de un campo gravitatorio? Entonces la materia podría hacer que el espacio se curvara. Einstein consideró esta inspiración como «el pensamiento más acertado de mi vida». La teoría general de la relatividad había nacido, a pesar de que habría que esperar más de seis años para que este trabajo se completara.

Por fin Einstein se las arregló para asegurarse un puesto académico en la universidad. Pero incluso en ese momento necesitó la ayuda de sus amistades. Adler, el idealista político y antiguo compañero de clase de Einstein, fue nombrado profesor asociado en la Universidad de Zúrich. Pero cuando Adler descubrió que Einstein también había solicitado el puesto, dimitió de un modo desinteresado y comentó: «Si pueden conseguir a un hombre como Einstein para la universidad, es absurdo que me nombren a mí».

En 1909 los Einstein se trasladaron de nuevo a Zúrich, donde al año siguiente nació su segundo hijo, Eduard. Mileva se sentía más cómoda de vuelta en la ciudad en la que había sido estudiante, y Einstein tomó posesión de su puesto en el departamento. Al principio, los estudiantes estaban perplejos ante la visión de este desaliñado joven que llevaba los pantalones demasiado cortos y el pelo demasiado largo, que permanecía de pie tímidamente al lado de la tarima y que sostenía una tarjeta de visita arrugada, a saber, sus apuntes, de los cuales pronto hizo caso omiso optando por seguir el hilo de su

pensamiento. Después invitaba a sus alumnos a continuar el debate en el Café Terasse, a la vuelta de la esquina.

En 1911 le ofrecieron a Einstein el puesto de catedrático titular en la Universidad Alemana de Praga, donde las cosas más bien se habían quedado ancladas en el tiempo. El primer día que llegó a la verja de entrada, el portero creyó que era el electricista que venía a arreglar las luces. Einstein estaba encantado de ganar más dinero, pero Mileva estaba profundamente disgustada por tener que dejar Zúrich. Mileva se metió en su concha y Einstein fingió no darse cuenta y se refugiaba en su trabajo. La reputación de Einstein empezó a extenderse por la comunidad académica y con frecuencia salía a dar conferencias en las que explicaba sus nuevas teorías. Mileva comentó que estaba fuera tanto tiempo que se sorprendía de que la reconociera.

En un viaje para dar una conferencia en Berlín en 1912, volvió a encontrarse con su prima Elsa Löwenthal, a quien había visto por última vez veinte años atrás en Múnich. Elsa era cinco años mayor que Einstein: una agradable *hausfrau* de 38 años, divorciada recientemente, con dos hijas adolescentes. Más que brillante era maternal. Como era corta de vista, para leer los periódicos se los tenía que pegar a la cara. Elsa era una mujer práctica de costumbres provincianas y no sabía nada de ciencias. No era en absoluto el tipo de Einstein –o eso parecía–, pero debió de tocarle la fibra sensible. Empezaron a mantener correspondencia.

Posiblemente a causa de sus relaciones durante la infancia, Einstein se mostró extraordinariamente abierto desde el principio. Le contó a Elsa la típica vieja historia de que su madre nunca le había querido realmente para después añadir que siempre había necesitado alguien a quien amar. Bastante pronto le dijo a Elsa que ahora era ella la que estaba desempeñando ese papel. Al parecer Elsa respondió del mismo modo, pero entonces Einstein empezó a provocar sospechas. En su soledad, Mileva se había convertido en una mujer celosa. Albert y Elsa continuaron escribiéndose de forma esporádica. Ella le escribía al trabajo y le hizo prometer que destruiría cualquier cosa que recibiera de ella. Puede que Einstein jugara a ser el profesor distraído, pero no se olvidó de quemar las cartas de Elsa.

En 1914, Einstein fue nombrado director de Física en el Kaiser Wilhem Institute de Berlín. Tenía 35 años y desde el punto de vista académico por fin había triunfado. El Kaiser Wilhem Institute era uno de los centros más destacados del mundo científico y entre varios de sus colegas más distinguidos se encontraba Max Planck. Allí Einstein podía continuar tranquilo con sus investigaciones, y solo se le requería de vez en cuando para que diera alguna que otra conferencia en la Universidad de Berlín. Para satisfacer los requisitos del Institute, obtuvo la ciudadanía alemana.

Mileva odiaba Alemania aún más que Praga. En tres meses había levantado el campamento llevándose consigo a los dos hijos. Al parecer el matrimonio se había hundido irrevocablemente. Einstein no hallaba consuelo por la pérdida de sus hijos. Envió el mobiliario desde Berlín para amueblar el apartamento de Mileva en Zúrich, prometió enviar dinero cada tres meses para mantenerla y se acostumbró a la vida de soltero en su casa vacía. Elsa vivía en el mismo distrito y en ciertas ocasiones iba a

comer al apartamento de ella, pero nada más. Él hizo como de costumbre y se enterró en su trabajo con ahínco.

Pero esta vez ocurrió algo de lo que ni siquiera Einstein pudo hacer caso omiso. En agosto de 1914 estalló la Primera Guerra Mundial. Alemania (como el resto de los combatientes en toda Europa) fue víctima de una patriotería frenética: columnas de tropas eran aclamadas por las calles en su marcha hacia el frente, sin sospechar la carnicería que les aguardaba. Einstein estaba horrorizado. Hasta el Institute estaba involucrado. Algunos de los colegas de Einstein recibieron el encargo de elaborar un gas venenoso eficaz.

Einstein se retiró a su buhardilla vacía para continuar trabajando en su teoría general de la relatividad, a menudo sin salir durante días enteros. Los pocos que le visitaron hablaban de un suelo sin alfombras. No había libros en las estanterías; en cambio, esparcidos por el suelo, había ejemplares de las últimas revistas científicas y muchas hojas de papel llenas de cálculos. El propio Einstein a menudo aparecía en la puerta descalzo y al parecer dormía bajo una manta vieja. Su pelo empezaba a encanecer y fue por entonces cuando empezó a llevar la espectacular melena despeinada que tanto gustaba a los dibujantes de cómics durante sus últimos años de vida. Alguien que le visitó excepcionalmente le comparó, al describirle, con «un león desgreñado y absorto que acaba de recibir un electrochoque». Las comidas eran poco frecuentes y de preparación simple: todo cocinado en la misma cacerola. Cuando la hija de Elsa entró un día en su casa, le encontró cociendo un huevo (con la cáscara manchada de excrementos de gallina) en la sopa. El efecto en su aparato digestivo era previsible, y doloroso. Y por si fuera poco, estaba el trastorno emocional que le provocaba su trabajo, que le acercó al límite de sus posibilidades.

No es sorprendente. El trabajo que le ocupaba durante este periodo se ha descrito como «la mayor proeza del pensamiento humano sobre la naturaleza, la más extraordinaria combinación de capacidad de análisis filosófico, física intuitiva y destreza matemática».

La anterior teoría *especial* de la relatividad de Einstein se había aplicado a cuerpos que se mueven unos respecto de otros con un movimiento uniforme. La teoría *general* de la relatividad se ampliaba para incluir cuerpos que se mueven con un movimiento acelerado relativo, como la gravedad (donde un objeto que cae aumenta en velocidad). Con el fin de demostrarlo, Einstein primero tenía que desechar el clásico concepto de gravedad de Newton como una fuerza que actuaba entre dos cuerpos. En su lugar, él veía la gravedad como un campo energético que emanaba de la propia materia. A mayor cantidad de materia, mayor era el efecto de la energía gravitatoria que este transmitía.

Puede parecer un asunto menor, pero la diferencia es crucial. Newton había basado todo su universo sobre un concepto erróneo de la gravedad. La idea de la gravedad de Newton como una fuerza significaba que el efecto del Sol en los planetas y el efecto de los planetas en sus lunas eran instantáneos. Pero, tal y como hemos visto, de acuerdo con la teoría especial de la relatividad de Einstein *nada viaja más rápido que la velocidad de la luz.* Puesto que los planetas viajan a aproximadamente 1/1.000 de la velocidad de la luz, las diferencias entre los cálculos basados en estas ideas contrapuestas eran

infinitesimales. Pero diferencias al fin y al cabo: solo una podía ser cierta. Y el resultado era fundamental: solo una explicaría el modo en que funciona el universo.

La idea de Einstein encerraba otras implicaciones, aún más asombrosas. Desde 1905, Einstein había ampliado su teoría de la luz y desarrollado el concepto de que esta debía entenderse compuesta tanto de partículas como de ondas. Pero si la luz estaba formada de partículas, podría verse afectada cuando atravesara un campo gravitatorio. En otras palabras, si la luz atravesaba un campo gravitatorio fuerte era susceptible de curvarse.

Pero todo nuestro concepto de línea recta dependía del paso de la luz. Por ejemplo, la distancia más corta entre dos puntos en este campo curvo no sería una línea recta. Como un avión que recorre en su vuelo la distancia más corta entre Londres y Los Ángeles, dibujaría una línea curva.

De modo similar, todo nuestro concepto de velocidad (y por lo tanto de espacio, y por lo tanto de tiempo) dependía de la velocidad de la luz. Si un rayo de luz se dobla cuando pasa a través de un campo gravitatorio, significa que nada puede pasar más rápido entre dos puntos del rayo curvo que *a lo largo* del rayo curvo. En otras palabras, *no* hay una distancia más corta entre dos puntos que la curva. (Esto era lo que *significaba* espacio curvo.)

En consecuencia, la geometría clásica euclidiana ya no bastaba para describir el universo. Ahí es donde fallaron las matemáticas de Einstein. No podía proponer nada que lo sustituyera. Sin respaldo matemático su teoría era pura conjetura y se podían extraer pocas conclusiones.

Afortunadamente para Einstein, en el siglo XIX, el alemán Georg Riemann había investigado el campo de la geometría no euclidiana. Durante medio siglo, sus estudios matemáticos sobre superficies curvas se habían considerado absolutamente brillantes pero absolutamente inútiles. Riemann había demostrado que en geometría curva era posible trazar un número indeterminado de líneas rectas entre dos puntos. (En definitiva, incluso una línea recta desde Londres a San Francisco pasará por Los Ángeles *en el globo terráqueo*.)

De modo similar, Riemann demostró que en geometría curva no puede existir una línea recta de longitud infinita. Einstein advirtió que si el espacio era curvo, también lo sería el universo. Una línea recta, finalmente, se encontraría consigo misma de nuevo. El nuevo concepto del universo de Einstein recibió gran ayuda de la idea del espacio-tiempo de su antiguo profesor Minkowski. Esta proporcionaba otro vínculo entre la teoría especial y la teoría general, y ataba los cabos que había dejado sueltos el efecto de la luz curva en el espacio y el tiempo. El espacio se hacía curvo y, del mismo modo, el tiempo, que no era absoluto, sino que simplemente actuaba como una cuarta dimensión en un continuo espacio-tiempo. (Si la trayectoria de la luz era curva, entonces la trayectoria del tiempo no podía ser una línea recta *más rápida,* sino que también tenía que ser curva.)

Einstein publicó sus resultados en marzo de 1916 en *Annalen der Physik,* en un artículo titulado «El fundamento de la teoría general de la relatividad» *(Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie).* Las sensacionales ideas nuevas de Einstein fueron recibidas con asombro y con cierta perplejidad. Todo eso estaba muy bien, pero no era

más que teoría. Afirmaba estar describiendo el universo, pero todo lo que aportaba no eran más que matemáticas y no había pruebas prácticas. Cierto es que su teoría parecía explicar una irregularidad diminuta en la órbita de Mercurio que la física de Newton no podía explicar. Pero esto era una prueba práctica difícilmente definitiva para unas afirmaciones tan significativas sobre la naturaleza fundamental del universo.

Einstein propuso una prueba práctica. De acuerdo con su teoría, la luz de las estrellas lejanas debía desviarse cuando pasara a través del fuerte campo gravitatorio del Sol. Por desgracia, esa luz solo se podría ver durante un eclipse solar, y el próximo no debía llegar hasta 1919. El mundo tendría que esperar para descubrir si formaba parte de un universo curvo o «plano».

Mientras tanto, el mundo creía que tenía cosas mejores que hacer. Para la mayoría, el mes de marzo de 1916 estuvo marcado por la matanza masiva de la batalla de Verdún. Einstein estaba horrorizado y sus ideas pacifistas se radicalizaron.

Cuando Einstein pudo por fin visitar Suiza, se dio cuenta de que su matrimonio con Mileva se había acabado. A su regreso, se lamentó ante la perspectiva de separarse de sus dos hijos. A pesar de todo, siguió adelante con el proceso de divorcio. El efecto en Mileva fue catastrófico y sufrió una depresión nerviosa.

Esta presión, después de su largo periodo de trabajo intelectual que le exigía una concentración extrema, llevó a Einstein al borde del colapso. Según su médico «al igual que su mente, que no conoce límites, su cuerpo no sigue ninguna norma establecida; permanece despierto hasta que se le ordena ir a la cama; pasará hambre hasta que le den algo de comer; y después come hasta que le digan que pare». Las condiciones de vida en Berlín en la época de guerra eran malas, y en un momento dado, Einstein perdió algo más de 6 kilos en dos meses. Elsa se lo llevó a su casa para cuidarlo.

La guerra terminó por fin en noviembre de 1918 con la derrota alemana. El káiser huyó a Holanda, un gobierno socialista ocupó el poder, a lo que siguió un caos político. Einstein se animó con la toma de poder socialista y estaba convencido de que el militarismo alemán era un asunto del pasado.

Bajo el régimen maternal de Elsa, Einstein se fue recuperando gradualmente de su enfermedad, pero no dio ninguna muestra de querer volver a su apartamento. Empezó a trabajar en su habitación del piso de arriba y en los descansos se le podía oír tocando el violín. A menudo le dejaban la comida detrás de la puerta. Einstein se desentendía de la situación doméstica, y Elsa estaba más que dispuesta a que la situación perdurara. Cuando llegó su divorcio, se le dijo que quizá debía casarse, y al parecer aceptó la propuesta de bastante buena gana. Elsa le cortó el pelo, le vistió con un traje y se casaron en junio de 1919.

En noviembre llegaron unas noticias que iban a cambiar la vida de Einstein para siempre. A principios de año, el astrofísico británico Arthur Eddington había dirigido una expedición a la isla afroportuguesa de Príncipe, en el golfo de Guinea, donde había fotografiado el eclipse solar. Las estrellas que anteriormente no se veían a causa de la radiación solar ahora se podían observar. Las fotos también mostraban que al pasar cerca del Sol, la luz de las estrellas se curvaba. Es decir, que la posición de las estrellas parecía

distinta cuando su luz no pasaba cerca del Sol. Las observaciones de Eddington coincidían con las predicciones de Einstein de que el Sol curvaba la luz de las estrellas lejanas. La teoría general de la relatividad se confirmaba: durante varios días Einstein estuvo eufórico.

Pero la reacción de Einstein no fue nada en comparación con la de la prensa mundial. En realidad, pocos sabían lo que era la relatividad (incluso en los círculos científicos), pero todo el mundo entendió que, por lo visto, el universo parecía haber cambiado para siempre. De pronto, el oscuro catedrático de física de Berlín era aclamado como «el mayor genio de la tierra».

El mundo acababa de salir de la catastrófica carnicería de una guerra mundial, que se conoció como «la guerra para acabar con todas las guerras», y había una necesidad general de buenas noticias. Los «grandes hombres» del pasado –jefes militares, hombres de Estado, aristócratas– habían quedado desacreditados. El mundo estaba entrando en una época de populismo («la era del hombre común») que necesitaba encontrar sus propios héroes nuevos. Este proceso había dado comienzo en Norteamérica con el fenómeno de Charlie Chaplin, y ahora Einstein le iba a acompañar. El genio modesto y despistado –que a veces se olvidaba de comer o de ponerse la camisa, que tocaba el violín y que era capaz de garabatear fórmulas en el mantel cuando se le invitaba a cenar– era justamente lo que prensa y público estaban esperando. Del mismo modo, la desilusión hacia las antiguas formas religiosas y filosóficas que caracterizó el periodo de posguerra había dejado un vacío espiritual que muchos trataron de llenar con la relatividad. Había llegado la explicación *real* de todo.

Einstein se convirtió entonces en una figura pública y viajó por toda Europa dando conferencias para explicar la relatividad. De Europa viajó a Norteamérica, lugar en el que fue recibido con llamativas noticias de teletipo. («El hombre que curva el espacio visita Chicago.») Elsa se aseguraría de que fuera debidamente vestido y aparentaba hacer la vista gorda a su comportamiento coqueto con las damas de sociedad. «Es conmigo con quien se va a casa», insistía ella; sin embargo, había ocasiones en las que su comportamiento le afligía de verdad. Pero este comportamiento era algo más que una simple cuestión de personalidad: se trataba además de una cuestión de principios. Los principios socialistas de Einstein incluían la creencia en la libertad absoluta del individuo. Su actitud bohemia iba más allá de su apariencia.

En 1921 ganó el Premio Nobel y le envió los 32.000 dólares del premio a Mileva. Se lo había prometido en secreto cuando se divorciaron, unos años antes de que se reconociera su trabajo. Einstein nunca había dudado de la importancia de sus hallazgos o de que un día le reconocerían y premiarían su trabajo.

Einstein era perfectamente consciente del aspecto ridículo que acompañaría al éxito. Exageró su excentricidad (que no era una tarea difícil) como una forma de autoprotección, pero, por lo demás, insistió en sacar partido a su fama. Militó con ahínco y durante mucho tiempo en favor del desarme internacional, dio todo su apoyo al sionismo e hizo todo lo que pudo para detener la creciente corriente de antisemitismo en Alemania.

En medio de sus ajetreados viajes de campaña para dar conferencias, Einstein trató de proseguir su trabajo. A pesar de que había logrado con éxito redefinir la gravedad y vincularla a la relatividad, todavía tenía que atar algunos cabos sueltos. Einstein deseaba establecer una relación matemática entre las fuerzas electromagnéticas (como la luz) y la gravedad. Esto sentaría las bases de una ley fundamental sobre el comportamiento general de todo, desde los electrones más pequeños hasta las estrellas más grandes. Einstein trataba de descubrir una fórmula aún más fundamental que $E = mc^2$. Deseaba relacionar todas las propiedades de la materia en una *teoría del campo unificado*. Partiendo de esta teoría absoluta continuaría hasta elaborar la teoría cuántica. De este modo podría vencer el elemento esencialmente ambiguo de la teoría cuántica, el cual desafiaba a la lógica tratando a la luz como si estuviera compuesta de ondas y de partículas al mismo tiempo. Tal y como insistió en la famosa carta dirigida al teórico cuántico Max Born en 1926: «Estoy convencido de que Dios no juega a los dados». Pero Niels Bohr, que estaba rompiéndose el cerebro tratando de desarrollar la teoría cuántica en Copenhague, estaba seguro de que la creencia de Einstein en un universo ideado para que funcionara con precisión era errónea. De existir uno, el principio absoluto sería la teoría cuántica.

Los trabajos publicados de Einstein siempre habían sido recibidos con escepticismo; pero, a partir de ese momento, el escepticismo partía de aquellos que le habían apoyado previamente. Puede que hubiera transformado el mundo, pero ahora parecía que le estuvieran dejando de lado. Einstein era un hombre ambicioso, y esto le causó algún sufrimiento. Detrás de la fachada de la fama, Einstein pasó por malos momentos. Su hijo Eduard sufrió una crisis mental. Anteriormente Eduard había venerado a su padre en la distancia, pero ahora ese sentimiento se convirtió en odio por abandonarle a él y a Mileva. Después, los nazis tomaron el poder en Alemania y ofrecieron una recompensa de 20.000 marcos por asesinarle. «No sabía que valiera tanto» –comentó Einstein–, pero se vio obligado a huir a Norteamérica.

Einstein aceptó un puesto de trabajo permanente en el Institute for Advanced Study en Princeton, que se había fundado recientemente para dedicarse a la investigación pura. Cuando llegó a Norteamérica, de pronto parecía un anciano. A pesar de que solo tenía 54 años, la aureola de su cabello alborotado era completamente blanca, y parecía que su rostro fuera de piedra.

Desde entonces, Einstein establecería una rutina que permaneció en gran parte invariable hasta el final de su vida. Cada mañana salía de su casa del 112 de Mercer Street y se disponía a dar el paseo de veinte minutos hasta el Institute for Advanced Study, que pronto empezó a atraer a algunas de las mentes más importantes del mundo científico.

Este era el Einstein que se convirtió en una leyenda viva, la amable figura del genio excéntrico tan querida por la prensa. Pero, en cierta manera, ahora era una figura triste. Desde hacía mucho tiempo, Einstein se había separado de sus pares. La teoría cuántica estaba ofreciendo unos resultados espectaculares, y muchos se sorprendieron con la insistencia de Einstein en buscar una teoría del campo unificado y pensaron que se

trataba de una completa pérdida de tiempo por parte de una mente suprema. Tal y como señaló su amigo Max Born: «Muchos consideramos que es una tragedia, tanto para él, que anda a tientas en solitario, como para nosotros, que echamos de menos a nuestro guía y abanderado». Einstein había desempeñado una labor fundamental en el desarrollo de la teoría cuántica; sin embargo, ahora se negaba a creer en sus implicaciones.

En 1936 Elsa murió y él se encerró aún más en su caparazón y trabajaba de una forma obsesiva en sus cálculos aparentemente fútiles.

Se dice que Einstein logró dos proezas notables durante las últimas décadas de su vida. La primera fue sublime, tanto por el hecho de que la llevara a cabo como por el horror que implicaba. En 1939, el físico danés Niels Bohr visitó a Einstein en Princeton y le confió unas noticias alarmantes: la fórmula $E = mc^2$ de Einstein se había confirmado de un modo dramático. Unos científicos alemanes habían dividido el átomo y pronto podrían construir una bomba de poder insospechado. Einstein informó al presidente Roosevelt por escrito. Sin que Einstein lo supiera, Roosevelt lanzó en secreto el Proyecto Manhattan para fabricar la primera bomba atómica. En 1945, cuando Einstein vio los resultados de lo que había hecho, instigó una campaña mundial para que se prohibieran las armas nucleares. A causa de los problemas que creó, fue investigado por el FBI.

Por contraste, el segundo hecho notable de las últimas décadas de su vida tenía algo de ridículo. Entonces Einstein era la figura judía más famosa del mundo, y en 1952 le ofrecieron el puesto de presidente del recién creado Estado de Israel. No podía dejarse arrastrar por su propio mito y lo rechazó de buena gana.

Mientras tanto Einstein había continuado trabajando en su teoría del campo unificado. Insistía en realizar hercúleos esfuerzos a pesar de que su salud empezaba a debilitarse. Uno a uno, se vio obligado a renunciar a sus pasatiempos favoritos. Los dolores crónicos de estómago (en parte legados de los singulares hábitos en su dieta de épocas anteriores) le obligaron a dejar de fumar su querida pipa. Finalmente, incluso dejó de lado su preciado violín. Pero estas nunca fueron preocupaciones fundamentales. Si algo le preocupaba, esta abstinencia servía para dejarle más tiempo para concentrarse en su objetivo final.

En 1950 Einstein publicó una nueva versión de su teoría del campo unificado. Sus compañeros científicos la recibieron con un incómodo silencio. Por entonces Einstein tenía 71 años, pero había envejecido (al menos en apariencia) mucho más. Confesó que a menudo se sentía como un extraño en el mundo, pero lo bastante cómodo como para sentirse profundamente desilusionado. La continua campaña del FBI en su contra, y su incapacidad para resolver la teoría del campo unificado le estaban sobrepasando. Cada vez estaba más cansado. En la primavera de 1955, a la edad de 76 años, murió mientras dormía en el Hospital de Princeton. Junto a su cama había una página de cálculos inacabados relativos a su teoría del campo unificado.

Algunos puntos clave

Extracto del trabajo de 1905 de Einstein sobre la relatividad:
«La teoría que se desarrollará está basada –al igual que toda la electrodinámica– en la cinemática del cuerpo rígido. Esto se debe a que las afirmaciones de esta teoría atañen a las relaciones entre los cuerpos rígidos (sistemas de coordenadas), relojes y procesos electromagnéticos. La falta de atención a este hecho es la causa de las actuales dificultades a las que se enfrenta la electrodinámica de los cuerpos en movimiento.

1 Parte cinemática
Pt 1 Definición de simultaneidad

Tomemos un sistema de coordenadas en el que las ecuaciones de la mecánica newtoniana sean válidas (es decir, hasta una primera aproximación). Con el fin de ser precisos y distinguir este sistema de coordenadas de otros, lo llamaremos "sistema estacionario".

Si un punto material está en reposo en relación con este sistema de coordenadas, su posición se puede definir respecto al sistema mediante una medición precisa y la geometría euclidiana, y se puede expresar en coordenadas cartesianas.

Si deseamos describir el *movimiento* de un *punto material,* le damos los valores de sus coordenadas como funciones del tiempo. Sin embargo, debemos tener presente que una descripción matemática de este tipo no tiene significado físico a menos que tengamos bastante claro lo que entendemos por "tiempo". Debemos tener en cuenta que todos nuestros argumentos relativos al tiempo se refieren siempre a *acontecimientos simultáneos.* Por ejemplo, si digo: "El tren llega hoy a las siete en punto", lo que en realidad quiero decir es algo como: "La manilla de mi reloj apuntando al siete y la llegada del tren son acontecimientos simultáneos".»

La relatividad en pocas palabras:
Sobre vastas distancias, el tiempo y el espacio se hacen relativos. *Solo la velocidad de la luz es constante*.

Definición de la relatividad de Einstein para el lego:
«Cuando uno corteja a una chica guapa, una hora parece un segundo. Cuando uno se sienta sobre carbón ardiente, un segundo parece una hora. Eso es la relatividad.»

La fórmula que derivó en la bomba:
$E = mc^2$
en la que *E* es energía desprendida, *m* es masa y *c* es la velocidad de la luz.

En los comienzos:
Como consecuencia de la teoría de Einstein, los físicos han podido describir la historia del universo hasta una fracción de segundo después del Big Bang. Esa fracción de segundo se ha reducido ahora a un punto decimal, cuarenta y dos ceros y un uno, o bien

0,00000000000000000000000000000000000000001. Lo que ocurrió en el preciso instante de la creación se desconoce, al menos por la ciencia.

Algunas citas clave:

• «Estoy convencido de que Dios no juega a los dados.»

• «La energía que desprende el átomo ha cambiado todo salvo nuestros modos de pensar y, de esta forma, nos encaminamos hacia una catástrofe sin precedentes.»

• «Nunca pienso en el futuro, pues pronto llega.»

• «La política es para el presente, pero una ecuación es para la eternidad.»

• «Si A es un éxito en la vida, entonces, A = x + y + + z. El trabajo es *x*, *y* es diversión y *z* es mantener la boca cerrada.»

• «Si se prueba que mi teoría de la relatividad es correcta, Alemania me reclamará como alemán y Francia declarará que soy ciudadano del mundo. Si mi teoría resulta ser errónea, Francia afirmará que soy alemán y Alemania declarará que soy judío.»

• «Cuando las leyes de la matemática se refieren a la realidad, no son ciertas, y cuando son ciertas, no se refieren a la realidad.»

Comentarios sobre Einstein:

• «La genialidad de Einstein nos lleva a Hiroshima.»

Pablo Picasso

• «Einstein entiende de psicología lo que yo de física.»

Sigmund Freud

• «Completamente chiflado.»

J. Robert Oppenheimer

Cronología

Cronología de la vida de Einstein

1879	Nace en Ulm, Alemania.
1894	La familia se traslada a Italia y deja a Albert en Múnich, Alemania.
1895	Se traslada a Suiza.
1900	Se gradúa en la Politécnica de Zúrich. Le conceden la ciudadanía suiza.
1903	Se casa con Mileva Maric.
1905	Publica tres trabajos innovadores, entre los que se encuentra la teoría especial de la relatividad.
1909	Dimite de su cargo en la Oficina de Patentes en Berna.
1913	Le nombran director de física en el Kaiser Wilhelm Institute en Berlín.
1916	Publica un trabajo sobre la teoría general de la relatividad.
1919	Se divorcia de Mileva y se casa con su prima Elsa Löwenthal.
1920	La confirmación de la teoría de la relatividad le proporciona fama mundial.
1921	Gana el Premio Nobel de Física.
1929	Publica la primera versión de la teoría del campo unificado.
1933	Emigra a Estados Unidos tras recibir amenazas de muerte de los nazis. Acepta un puesto de trabajo a tiempo completo en el Institute for Advanced Study en Princeton.
1939	Se entera de que han dividido el átomo y avisa al presidente Roosevelt.
1940	Le conceden la nacionalidad norteamericana.
1946	Le tildan de «compañero de viaje comunista» por su postura antinuclear.
1950	McCarthy le denuncia.
1955	Muere en Princeton a los 76 años.

Cronología de la época

1882	Muerte de Darwin.
1889	Se erige la Torre Eiffel en París.
1900	Freud publica *La interpretación de los sueños.*
1903	Curie recibe el Premio Nobel por el descubrimiento de la radiactividad.
1907-1914	La era del cubismo.
1912	Hundimiento del *Titanic.*
1913	*La consagración de la primavera* de Stravinsky causa sensación en París.
1914-1918	Primera Guerra Mundial.
1917	Revolución bolchevique en Rusia.
1922	Publicación del *Ulises* de James Joyce.
1929	La quiebra de Wall Street anuncia una era de depresión.
1933	Hitler sube al poder en Alemania.
1939-1945	Segunda Guerra Mundial.
1945	Se lanza la bomba atómica en Hiroshima. Se funda la Organización de Naciones Unidas.
1950	Estalla la Guerra de Corea.

Otras lecturas recomendadas

Jeremy Bernstein, *Einstein: el hombre y su obra* (Madrid, McGraw-Hill, 1992); una buena relación de sus ideas.

Denis Brian, *Einstein: a life* (Wiley, 1996); una biografía reciente que proporciona detalles desconocidos referentes a Mileva.

Ronald W. Clark, *Einstein: the life and times* (Hodder, 1988); la clásica biografía completa.

Albert Einstein, *Sobre la teoría de la relatividad especial y general* (Madrid, Alianza, 1996); una introducción divulgativa del propio Einstein.

Albert Einstein, *El significado de la relatividad* (Barcelona, Planeta De Agostini, 1993); cuatro conferencias.

Peter Michelmore, *Einstein, perfil de un hombre* (Barcelona, Labor, 1973); un retrato anecdótico del Einstein hombre.

BOHR
Y LA TEORÍA CUÁNTICA
EN 90 MINUTOS

PAUL STRATHERN

SIGLO XXI ESPAÑA

Siglo XXI de España / En 90 minutos

Paul Strathern

Bohr y la teoría cuántica

en 90 minutos

Traducción: Antón Corriente

Revisión: José A. Padilla Villate

Los descubrimientos de Niels Bohr en el campo de la teoría cuántica llevaron a avances monumentales en la física y en nuestra comprensión de la estructura atómica. Bohr ganó el premio Nobel por su labor en 1922, y sus ideas, aún hoy, siguen impulsando a la física hacia nuevos descubrimientos.

Pero ¿qué es la teoría cuántica? La mayoría de nosotros no entendemos ni los conceptos más básicos, aunque en ella reside la clave para comprender realidades tan complejas como los agujeros negros o la bomba atómica. *Bohr y la teoría cuántica* presenta un brillante relato de su vida y obra, y ofrece una explicación clara y concisa del significado e importancia de la teoría cuántica, así como de lo que implica para nuestras vidas y para el futuro.

«90 minutos» es una colección compuesta por breves e iluminadoras introducciones a los más destacados filósofos, científicos y pensadores de todos los tiempos. De lectura amena y accesible, permiten a cualquier lector interesado adentrarse tanto en el pensamiento y los descubrimientos de cada figura analizada como en su influencia posterior en el curso de la historia.

Diseño de portada
RAG

Motivo de cubierta:
Naturzientziak's Blog

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes sin la preceptiva autorización reproduzcan, plagien, distribuyan o comuniquen públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo de soporte.

Nota a la edición digital:

Es posible que, por la propia naturaleza de la red, algunos de los vínculos a páginas web contenidos en el libro ya no sean accesibles en el momento de su consulta. No obstante, se mantienen las referencias por fidelidad a la edición original.

Título original
The Big Idea: Bohr and Quantum Theory

© Paul Strathern, 1997

© Siglo XXI de España Editores, S. A., 1999, 2014
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.sigloxxieditores.com

ISBN: 978-84-323-1686-9

Introducción

Según el gran físico teórico alemán Werner Heisenberg, «la influencia de Bohr sobre la física y los físicos de nuestro siglo ha sido mayor que la de ninguna otra persona, incluido Einstein». Y Heisenberg debía saber lo que decía, pues pasó buena parte de su vida debatiendo, y a veces discutiendo enconadamente con ambos.

El mayor logro de Bohr fue resolver el enigma de la estructura atómica mediante la aplicación de la teoría cuántica, con el resultado de grandes avances científicos y gran desconcierto entre los científicos. ¿Por qué? El caso es que nadie sabe aún qué es realmente la teoría cuántica.

El gran pianista Vladimir Horowitz dijo en una ocasión que Mozart era «demasiado fácil para los principiantes, demasiado difícil para los expertos». Lo mismo se aplica a la física cuántica según el colega y biógrafo de Bohr, Abraham Pais. Por ello, si incluso la versión simplificada contenida en este libro resultara desconcertante, al menos pueden consolarse pensando que algo es algo. Dicho de manera muy sencilla (para aquellos que encontramos demasiado difícil incluso al sencillo Mozart), la teoría cuántica postula que a nivel subatómico, *las partículas no obedecen las leyes de la física clásica. De hecho, entidades tales como los electrones pueden existir como dos cosas diferentes a la vez, materia o energía, dependiendo de la forma en que se midan.*

El principal problema de la teoría cuántica es que es sencillamente increíble.

No tiene nada que ver con el sentido común. Pero la ciencia del siglo XX es mucho más emocionante que el sentido común, que Einstein definió sensatamente como «la acumulación de prejuicios adquiridos hasta la edad de dieciocho años». Bohr fue director del Instituto de Física Teórica de Copenhague, desde donde prácticamente dirigió la era dorada de la física cuántica, que tuvo lugar en la década de 1920 e involucró a muchos de los mejores científicos jóvenes de la generación posterior a la de Einstein. Juntos y por separado, por medio de la discusión y de la brillantez individual, estos pioneros abrieron un campo cuya existencia ni se sospechaba un cuarto de siglo antes. Las consecuencias de esta época de descubrimientos han sido de diverso valor. Ahora sabemos cómo funciona nuestro mundo, desde las más minúsculas partículas subnucleares a los agujeros negros. También podemos destruirlo en un holocausto nuclear. Bohr vivió lo suficiente para contribuir a la construcción de la primera bomba atómica. Cuando se dio cuenta de lo que había hecho, pasó el resto de su vida haciendo campaña contra la bomba.

Vida y obra

Niels Bohr nació el 7 de octubre de 1885 en Copenhague, en el seno de una distinguida familia danesa. Su padre, Christian Bohr, era profesor de fisiología en la Universidad de Copenhague, y casi ganó el Premio Nobel por sus trabajos pioneros sobre la química del sistema respiratorio. Sin embargo, su impronta más duradera en la sociedad danesa se debió a su amor por Inglaterra y todo lo inglés.

Christian Bohr era un gran creyente en el fútbol, y desempeñó un papel misionero en la propagación de esta religión popular en Dinamarca. La madre de Niels, Ellen, era de origen judío, y venía de una familia prominente en los círculos bancarios y políticos.

Pese a su nombre, Bohr padre no era un hombre religioso, y la atmósfera familiar era progresista, liberal e intelectual. Según todos los testimonios, los Bohr eran una familia agradable, comprensiva y tolerante. Uno tras otro sus amigos recordarían más tarde lo agradables, comprensivos y tolerantes que eran. Suena demasiado bonito para ser verdad, o demasiado aburrido; resulta difícil decidir cuál de las dos cosas.

Prácticamente la única anécdota que conocemos de la infancia de Niels es, como es usual, poco reveladora. Un día Christian Bohr mostró un árbol a su pequeño, explicándole de qué manera tan bella el tronco se dividía en ramas, que luego se dividían en ramas más finas, de las que luego salían hojas. Se dice que la respuesta de Niels fue: «Sí, pero si no fuera así no habría árbol». Desde el punto de vista psicológico y simbólico, así como literal, esto no dice prácticamente nada. O por el contrario, podemos pensar que rebosa de toda clase de significados. Escojan ustedes: es todo lo que tenemos.

Después de una infancia en blanco y una sosa juventud, Niels se convirtió en un joven callado y tímido. Las fotos de la época muestran a un adolescente alto y bien vestido, pero de aspecto algo torpe, con el cuello almidonado y cara de pocos amigos. Sus rechonchos mofletes cuelgan, sus labios son gruesos, y hay un aire de culpa en sus ojos pequeños y algo juntos. Hablaba de forma titubeante, y poco había en sus maneras que pareciera indicio de una mente de primer orden. En la escuela era otra historia. Era un alumno aventajado, aunque no brillante, muy dispuesto a hacer uso de su tamaño si se trataba de pelear. No tardó en ser conocido por su fuerza, testarudez y aptitud para los deportes. Para orgullo de su padre, fue seleccionado para el equipo de fútbol del colegio. Siguiendo los pasos paternos, se interesó por la ciencia. Le atraía en particular el trabajo experimental de laboratorio, en el que consiguió combinar una habilidad excepcional con una natural torpeza. Destrozar tubos y recipientes de cristal era su especialidad. En cierta ocasión, al oírse una serie de explosiones procedentes del laboratorio, su profesor, ya curado de espanto, comentó: «Ese debe de ser Bohr».

Pero lo más importante en la vida de Bohr era, con mucho, su hermano menor Harald, quien ingresó con él en el prestigioso Gammelhom Gymnasium de Copenhague. Un compañero dijo de ellos: «Nunca había visto dos personas tan compenetradas». Los hermanos eran inseparables. Harald era año y medio menor que Niels, pero no tardó en alcanzar a su avispado y deportivo hermano.

Niels no dio muestra alguna de resentimiento por ello. Para cuando estaban terminando la escuela, el joven Harald sobrepasaba ya a su hermano en todos los frentes. No solo era un matemático brillante, sino también un excelente futbolista. Como elegante mediocampista, Harald no tardó en superar las ocasionales gestas acrobáticas de su hermano en la portería. Desde el principio el joven Harald fue el hermano vivaz e ingenioso, mientras que el estilo de Niels era más callado y prosaico. Pese a tales rivalidades y diferencias de temperamento, el profundo entendimiento entre los dos hermanos no fue perturbado. Nunca tuvieron diferencias.

O eso se nos ha hecho creer. Bohr se ha convertido en monumento nacional en Dinamarca, y el ser humano de carne y hueso ha quedado aplastado bajo el sólido edificio de la leyenda Bohr. Resulta difícil creer que no hubiera alguna tensión oculta en esta relación fraterna inusualmente estrecha. Pocos hermanos mayores ceden su papel estelar sin alguna muestra de resentimiento, pero al parecer los dos hermanos se acomodaron el uno al otro con extraordinaria sensibilidad e intuición psicológica. Se repartieron entre los dos el campo del conocimiento científico. Harald se encargó de las matemáticas, mientras que Niels se dedicó a la física. De este modo podían consultarse el uno al otro e incluso ayudarse sin rivalidad alguna. Asimismo, el portero ocupa una posición única en el equipo, que no se ve amenazada por ningún otro jugador por brillante que sea.

Incluso en el seno del hogar parece que la relación de los Bohr estuvo libre de los piques y puñetazos habituales en los afectos fraternales normales. Este cuadro idílico se completa con su hermana mayor Jenny, igualmente brillante.

Jenny estudió en la Universidad de Copenhague y en Oxford, para luego regresar a Dinamarca y convertirse en una profesora «inspiradora» conocida por su «calidez». Pese a esta «calidez» nunca se casó, y sabemos, tristemente, que «los nervios le dieron problemas más adelante». La verdad no es tan agradable. La amada hermana y primogénita de la familia Bohr se convirtió en una ruina psicológica incurable, y acabó encerrada en un manicomio provincial. Según su certificado de defunción, murió de «psicosis maníaco-depresiva en su fase maníaca», fórmula clínica evocadora, a su pesar, de algo escalofriante. Como admitiría Harald en su funeral: «desde su más temprana juventud se veía impedida, a menudo impotente, por un mal que consumía todas sus fuerzas». La presencia de una figura tan inquietante en el hogar familiar de los Bohr arroja una luz algo diferente sobre la relación inusualmente cercana entre Niels y Harald.

Esta insistencia sobre una dimensión psicológica en la relación entre Niels y su hermano no es gratuita. Seguro que no es casual que la obra posterior de Niels se caracterizara por su esencial ambigüedad. La teoría cuántica trata de la compatibilidad de dos opuestos aparentemente irreconciliables. Dos de las concepciones teóricas más importantes de Niels fueron la Teoría de la correspondencia y el Principio de complementariedad, los cuales se concentran en la semejanza a pesar de las diferencias subyacentes. Niels Bohr comprendía la noción de ambigüedad al más profundo nivel, y su gran obra científica buscaba resolverla en armonía.

En 1903 ambos hermanos entraron en la Universidad de Copenhague. Era una época

estimulante. Empezaba un nuevo siglo, y el mundo estaba a punto de cambiar hasta lo irreconocible. Ese mismo año aparecieron los primeros taxis motorizados en las calles de Copenhague. En Estados Unidos los hermanos Wright realizaban su primer vuelo, y Marie Curie recibía el Premio Nobel por el descubrimiento de la radiactividad.

Los dos Bohr entraron pronto en el equipo de fútbol universitario, el Akademisk Boldklub, uno de los equipos más fuertes del país. Después se conocería con el nombre de AB, y hoy día suele figurar aun en los primeros puestos de la liga danesa. Niels se lucía de vez en cuando en la portería, pero cuando el juego se desarrollaba en el extremo opuesto del campo solía pasar el tiempo haciendo cálculos a lápiz sobre los palos de la portería. De hecho, fue su absorción en estos empeños matemáticos, tanto como la pericia artillera de sus oponentes, lo que le llevó a hacer algunas de sus paradas más espectaculares. Harald, por otra parte, brillaba sin necesidad de tales ayudas, y acabó jugando más tarde para Dinamarca en unos juegos olímpicos (en los que ganaron a Francia en semifinales por 17-1, para luego caer ante Inglaterra por 2-0) .

A estas alturas los bien avenidos y simbióticos hermanos se inspiraban (o empujaban) mutuamente hacia su pleno potencial intelectual. El temperamento parsimonioso de Niels parecía ideal para las complejidades de la física, y sus logros en el campo de su elección empezaban a igualar a los de Harald en matemáticas. Incluso sus compañeros de estudios empezaban a emplear la palabra «genio» al referirse a cualquiera de los hermanos Bohr. Niels fue siempre un ávido lector, y hacía lo posible por estar al tanto de los últimos avances científicos. Se labró un nombre enseguida entre sus compañeros por hacer enmiendas a los libros de texto de física. Lo que decían era erróneo, simplemente, y él era capaz de demostrarlo con ayuda de la evidencia de los recientes descubrimientos.

Durante sus años de estudio los Bohr siguieron viviendo en el hogar familiar, al cual su padre invitaba regularmente a cenar a algunas de las mentes más lúcidas de Dinamarca. Copenhague no era ya un remanso provinciano: entre la anterior generación de intelectuales estaban Søren Kierkegaard, fundador del existencialismo, y el crítico Georg Brandes, el hombre que descubrió a Nietzsche. Después de cenar, Bohr padre y sus colegas intelectuales celebraban una tertulia filosófica, a la que Niels y Harald podían asistir como «oyentes silenciosos». (Sería quizá un hogar de ideas avanzadas, pero parece que hasta los hijos mayores debían ser vistos pero no oídos.)

En 1907, durante su último año de carrera, Niels Bohr ganó la medalla de oro de la Real Academia Danesa de Ciencias y Letras por un ensayo sobre la tensión superficial del agua. Era una gesta asombrosa para un estudiante, y marcó su primera aparición como superintelecto científico. Bohr completó los trabajos experimentales para este ensayo robando tiempo de estudio de sus exámenes finales, y casi se le pasa el plazo fijado por la Academia. (En el manuscrito se aprecia que algunas partes las copió apresuradamente Harald, suponemos que a partir de las notas de Niels.) La parte experimental requería un análisis preciso de las vibraciones de un chorro de agua. Cada uno de los experimentos fue ideado y llevado a cabo por Bohr en solitario, y precisaba un chorro de agua con un radio diminuto, inferior al milímetro. Para conseguirlo necesitó largos tubos de cristal de similares proporciones y de corte transversal elíptico, que él

mismo fabricó. La velocidad del agua se medía cortando el chorro dos veces en el mismo punto en un intervalo de tiempo dado, y luego midiendo la longitud del segmento cortado por medio de fotografías. Las vibraciones (las ondas que se forman sobre la superficie del agua) se medían también con ayuda de fotografías.

Había que realizar la mayor parte de los experimentos de madrugada, con las calles vacías, con el fin de evitar la menor vibración perturbadora procedente del tráfico.

Este habría de ser el único trabajo experimental original que Niels Bohr realizara completamente en solitario. Tiene todas las trazas de su proceder parsimonioso y preciso y de su brillante capacidad de análisis, junto con una ausencia casi milagrosa de gazapos. Hasta Bohr se dio cuenta de que se trataba de una excepción. La tensión de trabajar con cristales tan frágiles le pasó factura, evidentemente, y en adelante siempre utilizaría colaboradores físicamente aptos en sus experimentos.

Es cosa sabida hace tiempo que estar obligado a escuchar sin poder replicar es un estimulante para el pensamiento radical. El forzoso silencio de Bohr en las veladas filosóficas organizadas por el padre no fue una excepción. Empezó a pensar por sí mismo. En contraste con las discusiones eruditas, que debía oír en silencio, el pensamiento filosófico de Bohr fue asombrosamente original desde el comienzo. De hecho, incluso anticipa ciertos aspectos del pensamiento de Wittgenstein. A Bohr le llamaba la atención el modo en que una palabra se puede emplear para describir un estado de conciencia («borrachera», por ejemplo) y a la vez utilizarse para describir el comportamiento externo que acompaña a este estado interno. Se dio cuenta de que cuando una palabra se refería a la actividad mental era esencialmente ambigua. (Aquí apareció por primera vez el concepto de ambigüedad en el pensamiento de Bohr. De modo revelador, es un concepto tan profundo como irresoluble.) En un intento de resolver esta ambigüedad, Bohr trazó una analogía con las matemáticas. Comparó estas palabras ambiguas (tales como borrachera, enfado, alegría, etc.) con funciones de valor múltiple. Dicho de un modo muy simple, estas funciones pueden tener valores diferentes en el mismo punto, ambigüedad que se supera especificando a qué «plano» se refiere el valor. Imaginen un eje tridimensional (véase la figura 1): si el punto de intersección puede tener tres valores diferentes, podemos superar esta complicación asignando cada valor a un plano diferente, a, b o c. Bohr sugirió que este método puede usarse también para el problema filosófico de las palabras ambiguas. Si una palabra tiene significados diversos, podemos superarlo nombrando el «plano de objetividad» al que se refiere. Por ejemplo, «borrachera» podía referirse a confusión mental o a falta de coordinación física, dos cosas diferentes. Especificando el «plano de objetividad» al que la palabra se refiere (en este caso, «subjetivo» u «objetivo») podemos eliminar la ambigüedad.

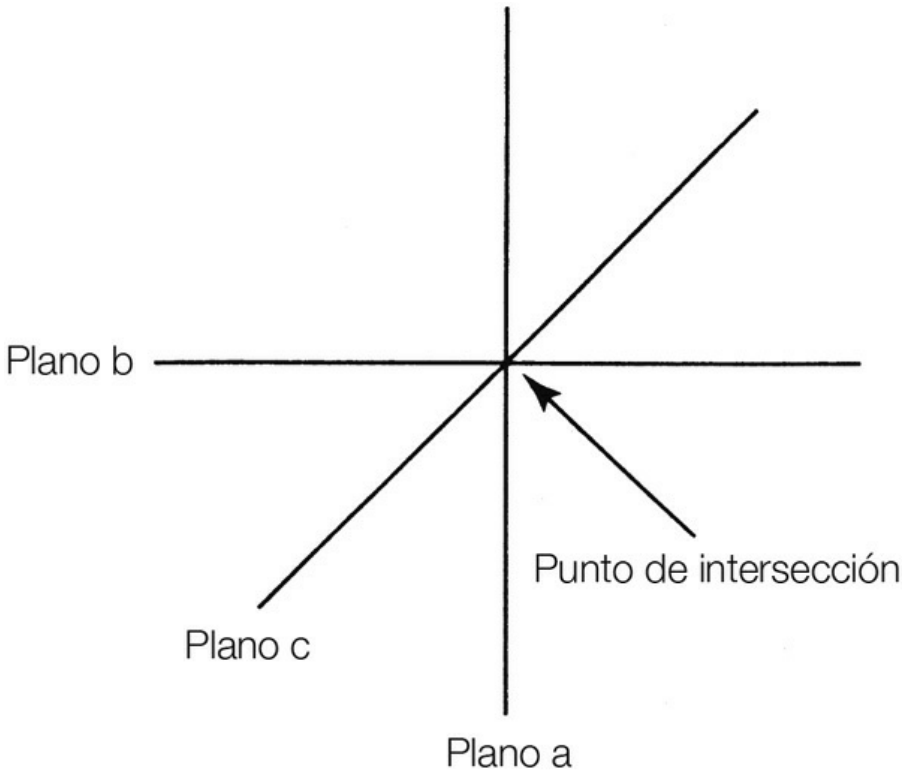


Figura 1

La historia está plagada de vanos intentos de las grandes mentes científicas (y filosóficas) por reducir el lenguaje a una estructura lógica precisa. Pero como todos sabemos a nuestra costa, la conversación rara vez es un procedimiento lógico. (Leibniz, el gran filósofo-científico alemán del siglo XVII, ingenió un esquema que reducía todos los argumentos morales a valores matemáticos: al final de la discusión se sumaban los puntos y el que tenía más ganaba. Si la vida fuera tan simple como la ven los genios…) La sugerencia de Bohr era igualmente ingeniosa, y estaba igual de condenada. Se vio forzado a aceptar que tales ambigüedades eran inherentes al lenguaje. Empezaba a comprender cómo unas interpretaciones conflictivas podían existir simultáneamente. (Noción que parece prefigurar la teoría cuántica, misteriosamente, como se puede ver consultando la definición simplificada y en cursiva de la introducción.)

Estas incursiones filosóficas suelen resultar desastrosas para los científicos.

La filosofía se ocupa de cómo son las cosas, y la ciencia de cómo funcionan. En otras palabras, la ciencia ignora a la filosofía y va a lo suyo. Pero hay momentos en los que hasta la ciencia tiene que hacer limpieza y preguntarse qué demonios está haciendo. El comienzo del siglo XX fue uno de esos raros momentos.

Hubo otro en el siglo XVII, cuando Galileo sugirió que la ciencia tenía que adaptarse a la realidad, no a las meras ideas. La verdad se obtenía a través de la experiencia, no solo a través del pensamiento. Este método alcanzó su apogeo con los grandes descubrimientos científicos del siglo XIX, pero al llegar el XX, parecía de algún modo

insuficiente. Las limitaciones del empirismo estaban quedando al descubierto. La más flagrante de ellas se puso de manifiesto en 1905, cuando Einstein postuló su teoría especial de la relatividad.

Contrariamente al concepto de ciencia hasta entonces imperante, la relatividad *fue* descubierta gracias al pensamiento. (Einstein se sirvió de la matemática, no de la experimentación.)

Había algo realmente nuevo en el ambiente. La ciencia cuestionaba sus métodos y a sí misma. ¿Qué era? ¿Qué hacía? El interés de Bohr por la filosofía hallaba eco en muchas mentes científicas destacadas de la época. (Einstein leía a David Hume, el filósofo escocés del siglo XVIII que cuestionaba la noción de causa y efecto; otros estudiaban al filósofo alemán Immanuel Kant, cuya epistemología trataba de explicar la naturaleza del espacio y el tiempo.) La ciencia estaba pasando la prueba de la filosofía, y de ello saldrían los fundamentos de la mayor edad científica de todas: el siglo XX.

El espectáculo de la ciencia volviendo sobre sí misma era emocionante en extremo.

Todo quedaba en entredicho. El filósofo y científico vienés Ernst Mach (quien dio nombre a la velocidad de la barrera del sonido) llegó al extremo de cuestionar la existencia del átomo. Casi medio siglo antes, el ruso Mendeléyev había revolucionado la ciencia con su tabla periódica de elementos atómicos. ¿Acaso se basaba en un supuesto falso? ¿Qué era exactamente un átomo? ¿Alguien había visto alguno? Según Mach, el átomo no era más que un concepto desfasado, un vestigio de un modo de pensar anterior y acientífico. La ciencia estaba cargando con una idea abstracta e insignificante, jamás constatada por nadie. Ya no había nada sagrado. Hasta las nociones más básicas se podían cuestionar. Bohr empezó pronto a hacer exactamente eso. En 1909 emprendió su tesis doctoral, que resultó ser un trabajo puramente teórico sin que el autor introdujera el componente de la experimentación y que le llevó a una conclusión demoledora. (Quizá decidió que era mejor dejar el trabajo experimental demoledor en manos más expertas.) El título de la tesis de Bohr fue «Investigación de la teoría del electrón en los metales» *(Studier over metallernes elektrontheori).* Bohr rechazaba la postura extrema de Mach. El átomo no solo existía, sino que empezaba a comprenderse algo acerca de su naturaleza. Para los años finales del siglo XIX, la mayoría de los científicos (¡pero no Mach!) consideraban el átomo como la forma fundamental de la materia.

De hecho, su mismo nombre en griego significa «sin partes», es decir, indivisible. Entonces, en 1897, el físico británico J. J. Thomson descubrió el electrón, la primera partícula subatómica conocida. El electrón tenía una carga eléctrica negativa. Todo parecía indicar que el átomo tenía una estructura interna. Thomson sugirió que el átomo era como un pastel esférico de carga eléctrica positiva, con electrones pegados a modo de pasas, suficientes para neutralizar dicha carga.

El cuadro cambió un poco cuando tocó explicar cosas como el magnetismo de los metales. Según la teoría del electrón en los metales, un metal podía concebirse como un gas de electrones en medio de una red espacial de iones de carga positiva.

En estos primeros días en los que nadie sabía exactamente de qué estaba hablando, un ión se definía de una manera circular, reminiscencia de Alicia en el país de las

maravillas, como «un átomo que ha perdido sus electrones».

Se elaboraban teorías provisionales sobre teorías provisionales. Había un sentido en lo que decía Mach. ¿Cuál era el fundamento de todas estas teorías, si nadie había visto un átomo?

Sin preocuparse de semejantes rigores, Bohr siguió avanzando por lo desconocido a golpe de teoría. En su tesis argumentaba, con un análisis parsimonioso y preciso, que el magnetismo revelaba deficiencias en la teoría del electrón en los metales. La respuesta obvia era cuestionar dicha teoría, pero Bohr escogió un camino completamente diferente. Aquí atisbamos por primera vez la asombrosa originalidad y valor de su pensamiento. Bohr argumentó como sigue: la teoría del electrón en los metales explica casi todas las cualidades mostradas por los metales. El problema empieza cuando hay que explicar algo acerca de las *cantidades* implicadas en el comportamiento metálico. Por ejemplo, cuando se colocan ciertos metales en un campo eléctrico, la fuerza de su magnetismo (que depende de los electrones) no concuerda con las leyes de la física clásica. ¿Pero qué demonios quería decir esto? Bohr hizo una conjetura asombrosa. Al parecer, los viejos supuestos de la física clásica no encontraban aplicación a nivel subatómico. Para describir lo que sucede dentro del átomo, parecía necesario un tipo de física completamente diferente.

Pero esto era imposible. Era como si Bohr sugiriera que en el nivel subatómico las cascadas fluyen hacia arriba y las hadas existen. He aquí un país de las maravillas donde dos y dos no son necesariamente cuatro. Ni el propio Bohr estaba seguro de lo que significaba todo esto. Así que decidió dirigirse a la fuente. Cuando terminó su tesis en 1911 fue a Cambridge a estudiar con J. J. Thomson. Si alguien sabía algo sobre el comportamiento de los electrones, debía ser su descubridor. Pero en Cambridge se encontró con un muro de ladrillo, en parte obra suya, pero no del todo. A Thomson simplemente no le interesaba este danés imperioso y entusiasta, que ni siquiera sabía expresarse con propiedad en inglés, menos aún expresar sus complicadas teorías. A Bohr no le favoreció su imperfecto uso de la terminología. Al hablar de electricidad, por ejemplo, decía «cargamento» *(load)* en lugar de «carga» *(charge)*. (Bohr hablaba con fluidez danés y alemán, pero por lo demás era un lingüista más entusiasta que experto. Mucho más tarde insistiría en saludar al embajador francés con un cordial *«Aujourd'hui!»*.)

El punto más bajo de su experiencia en Cambridge tuvo lugar durante una discusión informal con Thomson y sus colegas. Bohr trataba de explicar lo mejor que podía cierto punto de la teoría del electrón en los metales. Thomson le interrumpió diciéndole que lo que decía eran paparruchas, y a continuación dijo exactamente la misma cosa con palabras diferentes. Bohr no se puso las cosas más fáciles cuando más adelante insistió en que algunos de los cálculos del gran hombre para el electrón eran defectuosos. «Todos han perdido la confianza en mí» escribió a casa en tono desamparado. Pero estaba dominado por la testarudez del genio. Parecía claro que había otro tipo de física que contradecía las leyes de la física. No tenía ni idea de adónde conducían sus ilógicas ideas, pero estaba decidido a perseverar y seguirlas.

Bohr se dio cuenta de que tenía que aprender bien el inglés, así que con su característica perseverancia se sentó a leer las obras de Charles Dickens con la ayuda del diccionario, un gran Engelsk-Dansk Ordbog. Buscando cada palabra que no entendía, empezó a abrirse camino entre descripciones de comportamientos más extraños aun que el de los electrones: las manías de la Inglaterra victoriana tal como se describen en *Los Papeles de Pickwick*, *Oliver Twist* y *Martin Chuzzlewit*.

Entonces vino el golpe de suerte de Bohr. En octubre de 1911 asistió a la cena anual de Cavendish, celebrada en honor del excéntrico físico inglés del siglo XVIII, el primero en calcular el peso de nuestro planeta, importante muestra de eclecticismo que determinó el valor de G, la constante gravitacional. Tras la cena, con el oporto, Ernest Rutherford se dirigió a los presentes. Su trabajo sobre la radiactividad había conducido a especulaciones revolucionarias sobre la naturaleza y estructura del átomo. Bohr quedó fascinado con este neozelandés campechano de mediana edad a quien uno de sus colegas describió como «una mezcla encantadora de niño, hombre y genio». Quizá el hecho de que el padre de Bohr hubiera muerto prematuramente unos meses antes tenga alguna relación con ello.

Rutherford estaba igualmente impresionado con Bohr. Le gustaban los hombres activos, y le impresionó saber que Bohr era un futbolista de categoría profesional. Fiel al tópico kiwi, Rutherford había sido un robusto jugador de rugby en el equipo de su facultad de Cambridge. Más importante aun, Rutherford entendía lo que Bohr tenía que decir, a pesar de su inglés, que siguió siendo tortuoso y titubeante cuando tenía que expresar ideas científicas complejas que fueran más allá del registro de Mr. Pickwick («Engelsklish», fue como lo llamó un amigo). En opinión de Rutherford: «Este joven danés es el tipo más inteligente que he conocido nunca». Menuda flor, viniendo de uno de los físicos más grandes de su época. La valía de Bohr empezaba a ser reconocida por fin. Rutherford le invitó a trabajar en su equipo en la Universidad de Manchester. Bohr aceptó entusiasmado y escribió a casa: «En Manchester tendré condiciones estupendas». Aunque Bohr y Rutherford llegaran a un entendimiento tan inmediato, en realidad eran opuestos. Rutherford era el físico práctico por excelencia, y pese a su estilo tan franco y directo era capaz de concebir experimentos de extrema sutileza. Exigía pruebas incontestables, y despreciaba a los teóricos de altos vuelos que no se dignaban ensuciarse las manos con el material de laboratorio. Bohr, por su parte, venía más bien de la tradición francesa y alemana. Prefería someter las hipótesis a un riguroso análisis lógico con el fin de descubrir sus implicaciones, y no temía nunca construir teoría sobre teoría. A estas alturas la razón continental prevalecía sobre el empirismo británico en el enfoque de Bohr. Por una vez, no parecía importarle a Rutherford. «Bohr es diferente. Juega al fútbol», dijo a sus colegas en su defensa.

Las investigaciones de Rutherford sobre la radiactividad le habían llevado a algunas conclusiones extrañas. Había descubierto que los átomos se desintegran.

Los átomos de un elemento dado pueden desmoronarse y convertirse en átomos de otro elemento distinto. Conclusiones como esta eran tomadas a broma sin más por los físicos clásicos de la vieja escuela. Para ellos se trataba ni más ni menos que de una

regresión a la alquimia medieval y a su creencia de que el vil metal podía convertirse en oro. Rutherford decidió investigar la estructura interna del átomo, y preparó una serie de experimentos en colaboración con su ayudante alemán Hans Geiger, inventor del contador que lleva su nombre y se emplea para medir la radiactividad. Rutherford estaba de acuerdo, en lo esencial, con la imagen que tenía Thomson de la estructura atómica: un pastel esférico uniformemente positivo con pasas-electrones negativos pegados. Pero su trabajo experimental sobre la descomposición radiactiva de los átomos le había llevado a visualizar el pastel más bien como una esfera de gas positivo claveteada de diminutos electrones.

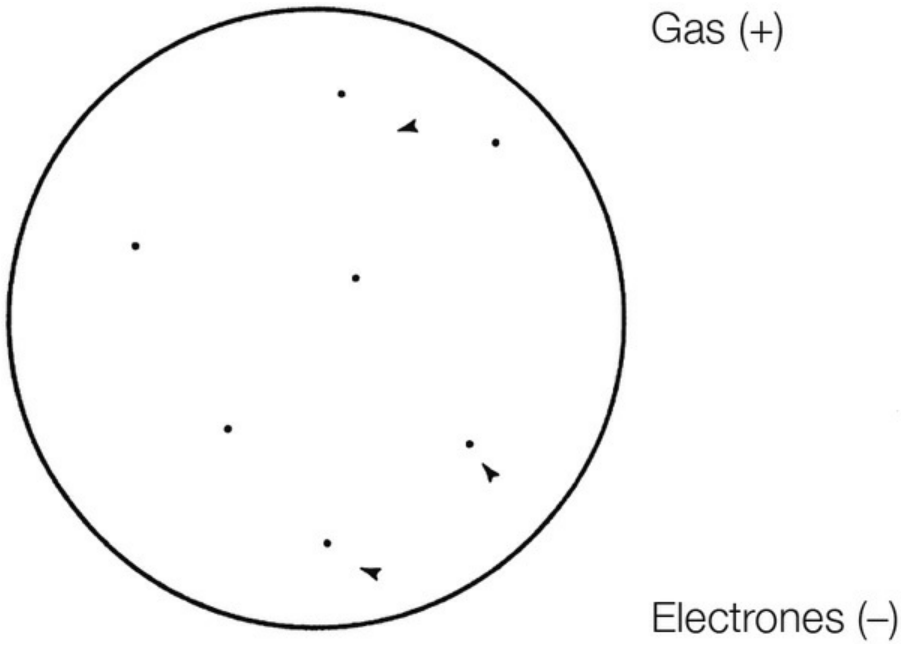


Figura 2. Modelo inicial de la estructura atómica de Rutherford.

Rutherford se dio cuenta de que la única manera de investigar algo tan minúsculo como un átomo era bombardearlo con algo todavía más pequeño, es decir, con una partícula subatómica. Por suerte, sabía que cuando los átomos radiactivos se desintegran en otros menores emiten un flujo de partículas subatómicas. Decidió utilizar un tipo determinado de estas, llamadas partículas alfa. Son mucho mayores que los electrones, y tienen carga positiva. Rutherford montó un experimento en el que una fuente radiactiva disparaba un chorro de partículas sobre una delgada lámina de oro. Cuando las partículas atravesaban el oro impactaban en una pantalla fluorescente y producían pequeños destellos.

A Rutherford no le sorprendió que la mayor parte de las partículas alfa atravesaran la lámina de oro, pues suponía que los átomos eran en su mayor parte gas. En ocasiones se desviaban algunas partículas alfa, cosa que evidentemente ocurría cuando se cruzaban en

su trayectoria con uno de los diminutos electrones de la esfera atómica gaseosa. Los electrones eran tan pequeños que solo desviaban a las grandes partículas alfa en 1º, aproximadamente. Según avanzaba el experimento, le sorprendió descubrir que algunas partículas se desviaban tanto como 10º.

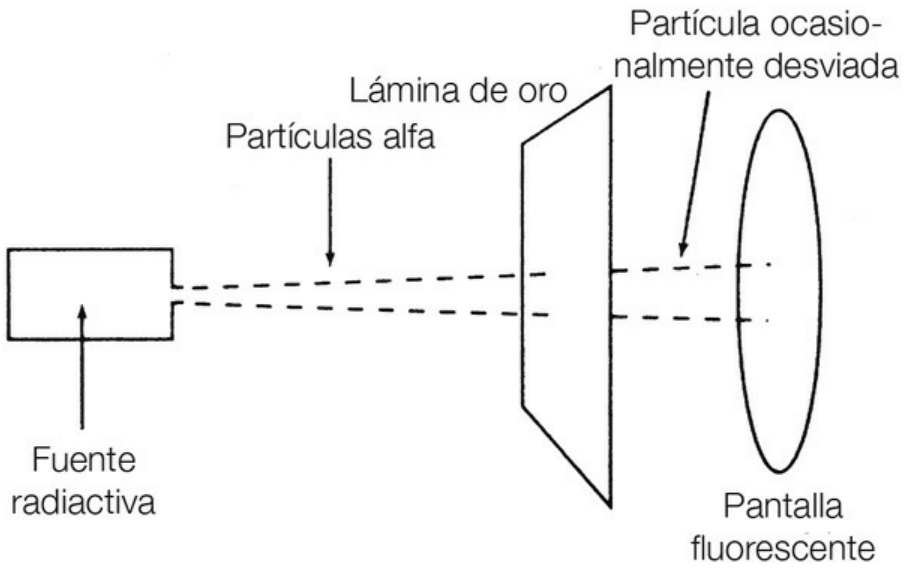


Figura 3

¿Pero cómo podía ser, si las partículas alfa disparadas eran enormes en comparación, iban a gran velocidad y los electrones eran tan pequeños? Unos días más tarde ocurrió algo aún más asombroso. Se comprobó que algunas de las partículas rebotaban hacia atrás tras golpear en la lámina de oro. «Puedo decir que fue el acontecimiento más increíble de mi vida» comentó Rutherford.

«Era casi tan increíble como disparar un obús de treinta y ocho centímetros contra un pañuelo de papel y que rebotara, volviendo hacia ti.»

¿Qué demonios estaba pasando? ¿Qué cosa podía ser capaz de detener, y hacer rebotar una partícula subatómica con semejante cantidad de movimiento? No le llevó mucho tiempo a una cabeza como la de Rutherford ofrecer una respuesta. El átomo tenía que estar formado por un diminuto pero extremadamente concentrado centro con carga positiva. Este podría así soportar la cantidad de movimiento de la partícula positiva alfa y también repelerla, como sucede con los dos extremos positivos de un par de imanes. Ahora Rutherford podía presentar un modelo del átomo. Según su concepción, el átomo estaba casi completamente vacío. En el centro hay un núcleo minúsculo pero extraordinariamente denso, que ocupa una milmillonésima parte del espacio del átomo –imaginen un guisante en una catedral–. Este núcleo positivo está rodeado por una cierta cantidad de electrones negativos que giran a su alrededor en órbitas fijas, atrapadas por su poder de atracción.

Había nacido el átomo nuclear, al que habrían de seguir la física y la era nucleares. Era una de las ideas estéticamente más reconfortantes que la ciencia haya concebido nunca. Parecía que la unidad más pequeña del mundo funcionaba igual que el sistema solar. ¡El micromundo y el macromundo eran reflejo el uno del otro! La concepción de Rutherford era inspirada. Tenía una sola pega: no funcionaba.

Según las leyes de la física clásica los electrones en órbita simplemente irradiarían toda su energía en un milisegundo y colapsarían contra el núcleo.

Además, ¿qué impedía a las partículas positivas que componen el núcleo repelerse unas a otras (de nuevo, como ocurre con los imanes)? Un núcleo central compuesto de partículas positivas se disgregaría en el acto. Estas cuestiones no tenían respuesta. La estructura atómica de Rutherford era inestable.

Bohr pensaba de otro modo. Nada dispuesto a dejarse desanimar por las leyes de la ciencia, Bohr se propuso hallar una solución que apoyara la estructura atómica «imposible» de Rutherford. Bohr estaba convencido de que el modelo «sistema solar» del átomo era demasiado bueno para ser mentira. Explicaba tantas cosas hasta entonces inexplicables. Bohr fue uno de los primeros en percatarse de ello.

Cada elemento de la tabla periódica tiene un número atómico, que indica su posición en la tabla y por tanto sus propiedades. Este número, estrechamente relacionado con el peso, refleja obviamente el número de unidades de carga eléctrica positiva que hay en el núcleo. Este sería, por lo general, igual al número de electrones negativos en la órbita del núcleo. Las propiedades físicas y químicas de un átomo dependen evidentemente de las órbitas de dichos electrones. Su facilidad para tomar o desprender electrones dependería de la posición de la órbita. Diferentes tipos de órbita podían incluso explicar cómo había diferentes elementos, y cómo sus propiedades recurrían como lo hacían en la tabla periódica. Caramba, el modelo de Rutherford lo explicaba *todo*. *Tenía* que ser correcto (¡aunque supusiera negar las leyes de la física! Después de todo, Bohr ya las había cuestionado en su tesis sobre la teoría del electrón en los metales).

Para explicar cómo Bohr se las arregló para resolver este problema aparentemente insuperable, primero es necesario comprender exactamente cuáles eran las leyes de la física. En esta época (alrededor del cambio de siglo) las leyes de la física se basaban en los supuestos fundamentales de la física clásica, es decir, de la visión científica del mundo desarrollada principalmente por Galileo, Newton, y más tarde, Maxwell. Dicha visión consideraba el Universo como una máquina vasta y compleja que operaba siguiendo principios estrictamente mecánicos, en tiempo absoluto y espacio absoluto. Todo movimiento del Universo tenía una causa. La secuencia de causa y efecto era rígida e inmutable. Todo estaba determinado (y era, por tanto, explicable). Había dos formas de energía: la que poseían las partículas en movimiento, y la que viajaba en forma de ondas (como la luz, las ondas de radio, etc.). El comportamiento de la primera se asemejaba a bolas de billar chocando, el de la segunda a las olas desplazándose sobre la superficie del mar. Estas dos formas de energía eran mutuamente excluyentes. Como explica la teoría de la gravedad de Newton, los cuerpos se atraen unos a otros según su masa y la distancia que los separa. Y como explica la teoría de las ondas

electromagnéticas de Maxwell, la luz se desplaza en forma de ondas, cuyas diferentes frecuencias producen tipos diferentes de radiación (por ejemplo, diferentes colores). La veracidad de estas leyes y supuestos básicos de la física clásica estaban por encima de toda duda. Esta era la manera como funcionaba el mundo, sin más.

¿Y quién podía negarlo? Desde que Galileo sentara las bases de la física clásica en el siglo XVII, el resultado había sido una era de avances científicos sin parangón en la historia. El mundo en el que las brujas ardían en la hoguera y la Tierra era el centro del Universo había dado paso a los primeros rascacielos de Chicago, el primer vuelo de los hermanos Wright, la gravedad, la electricidad, el motor de explosión, la velocidad de la luz; todo lo había explicado la física clásica. O eso parecía. Hacia el final del siglo XIX, este monolito de certezas había empezado a tener fisuras, que solían atribuirse al cada vez más rápido pero desigual avance del saber científico. Se confiaba en que futuros descubrimientos curarían estos ataques de hipo.

Entonces, en 1900 Max Planck, profesor de física de la Universidad de Berlín, hizo un descubrimiento asombroso. Como explicó a su hijo en una fría mañana de diciembre mientras paseaban por un bosque cercano: «Hoy he hecho un descubrimiento tan importante como el de Newton … he dado el primer paso hacia adelante respecto a la física clásica». ¿Pero qué había descubierto exactamente? Una de las anomalías que había desconcertado a los físicos clásicos era la llamada «catástrofe ultravioleta». Sucede lo siguiente: un cuerpo negro absorbe todas las frecuencias de la luz, de modo que al calentarse debería irradiar en todas las frecuencias, pero no lo hace. Emite frecuencias bajas, que solo aumentan de forma gradual a medida que aumenta la intensidad del calor. Como todos sabemos, un cuerpo caliente emite luz roja de baja frecuencia. Si se calienta más, emite una luz naranja de frecuencia superior, y luego, amarilla.

Pero, según las leyes de la física clásica, debería emitir cantidades iguales de *todas* las frecuencias de la luz. Si esto *ocurriera* sufriríamos graves quemaduras por las altas frecuencias de luz ultravioleta cada vez que nos sentáramos delante de un fuego. La «catástrofe ultravioleta» simplemente no ocurría.

Planck había conseguido averiguar lo que *sí* tenía lugar. Pero para hacerlo se había visto obligado a contradecir las leyes de la física clásica. Decidió que la radiación electromagnética (la luz) se comportaba como las ondas *y* como las partículas. A estas ondas-partículas las llamó *«quanta»* (palabra latina que significa «¿cuántos?»).

Figura 4

Según Planck, la radiación electromagnética de baja frecuencia (luz) se compone de pequeños cuantos, y la radiación de frecuencia más alta de cuantos mayores.

Cuando se calienta un cuerpo, con una cantidad de energía (calor) comparativamente pequeña se pueden formar los cuantos menores, de los que se compone la luz roja de baja frecuencia. Para formar cuantos mayores se requiere una cantidad de energía mayor, y por ello solo irradian en la medida en que aumenta el calor, y aun así, serán pocos en un principio.

Recapitulando: ¿por qué los cuantos tienen que ser ondas *y* partículas? La luz tiene frecuencia, luego debe viajar en forma de ondas. ¿Pero cómo explicar la ausencia de la catástrofe ultravioleta? Planck sugirió que las ondas no eran continuas (como deberían ser, según la física clásica). En lugar de ello eran cuantos, es decir, haces de ondas u objetos emitidos en forma de partículas individuales. Los cuantos de cada frecuencia de luz tienen diferentes tamaños físicos (cualidad de materia), y eso explica que inicialmente el rayo ultravioleta no sea emitido con tanta intensidad. Los cuantos son por tanto ondas que se desplazan como partículas, y partículas consistentes en ondas. Imposible según la física clásica, en la que las ondas son continuas y las partículas se componen de materia, no de ondas. (En esta concepción, las ondas son meras oscilaciones con una determinada frecuencia que pasan *a través* de un medio o sustancia, como las olas pasan *a través* del agua.) Planck dedujo que el tamaño de los cuantos variaba en proporción a la frecuencia de la radiación. Lo expresó en su famosa fórmula:

$$E = hv$$

en la que *E* es el valor energético del cuanto y *v* la frecuencia de la radiación.

La *h* es una constante fundamental, ahora conocida como la constante de Planck.

(Una constante fundamental es una cantidad física que puede expresarse en forma numérica y que es siempre la misma bajo cualesquiera condiciones, en cualquier lugar del Universo. Otro ejemplo de constante fundamental es la velocidad de la luz. El valor de la constante de Planck se ha calculado en $6{,}626176 \times 10^{-34}$ julios por segundo. Una suma minúscula, casi cero. Pero el solo hecho de que sea *más que* cero supone que los cuantos de alta frecuencia requieren más energía, lo que nos salva de la «catástrofe ultravioleta».) La idea de Planck era tan revolucionaria que al principio nadie podía aceptarla.

Él mismo la encontraba difícil de creer. Cinco años después Einstein confirmó la «teoría cuántica» de Planck, como vino a llamarse, al emplearla para explicar el efecto fotoeléctrico, otra anomalía desde el punto de vista físico clásico. Este efecto tiene lugar cuando la luz ultravioleta alcanza a ciertos metales, provocando una emisión de electrones. Estos electrones no se comportan de acuerdo con las leyes de la física clásica. Su nivel de emisión depende de la frecuencia de la luz bombardeante, no de su intensidad. Cuanto mayor es la frecuencia, más electrones se liberan. Esto se podía explicar si se considera que la luz está compuesta de cuantos (y la luz de frecuencia mayor, de cuantos mayores).

Una vez más, parecía que la luz viajaba tanto en forma de ondas como de partículas.

Sin embargo, el mundo científico en general se negaba a aceptar tales tonterías.

Esta teoría cuántica era solo un ingenioso «invento alemán» que tapaba un hueco debido a que nuestro conocimiento se había adelantado temporalmente a cualquier teoría más general capaz de ofrecer una explicación. La teoría cuántica era claramente ilógica, y no podía durar. Pasados unos años llegaría una teoría más completa que explicaría como es debido las anomalías explicadas de modo tan complejo por la teoría cuántica. Esta teoría más completa concordaría sin duda con la física clásica. Incluso los propios Planck y Einstein estaban convencidos de que sería así.

La explicación de Einstein acerca de la luz ultravioleta en contacto con ciertos metales se encontraba dentro del mismo terreno científico que la tesis de Bohr sobre la teoría del electrón en los metales. Bohr había llegado también a la conclusión de que las partículas subatómicas no obedecen a las leyes de la física clásica, pero ni él, ni nadie, veía la relación entre todo esto y el problema de la estructura atómica, que era el problema al que se enfrentaba ahora Bohr en su defensa del modelo «solar» de Rutherford.

La clave para la estructura de los diferentes elementos fue descubierta gracias a un nuevo tipo de espectroscopio inventado en 1814, obra del óptico bávaro Joseph von Fraunhofer, quien sobrevivió a su enterramiento en vida cuando el edificio de pisos en el que trabajaba se le derrumbó encima. Todas las otras personas que estaban en el edificio murieron, y el elector Maximiliano José conmemoró su milagrosa salvación recompensándole con la principesca suma de dieciocho ducados. Esto permitió a Fraunhofer dedicarse a investigar por su cuenta, lo cual le llevó a inventar el espectroscopio. Si cualquier elemento en estado gaseoso es sometido a un calor intenso, resplandece, y cuando la luz así emitida se examina al espectroscopio se ven por separado los colores que la componen. Estos aparecen como bandas de líneas coloreadas en el espectro general de los colores, y se vio que cada elemento tenía su propio «espectro de emisión» característico.

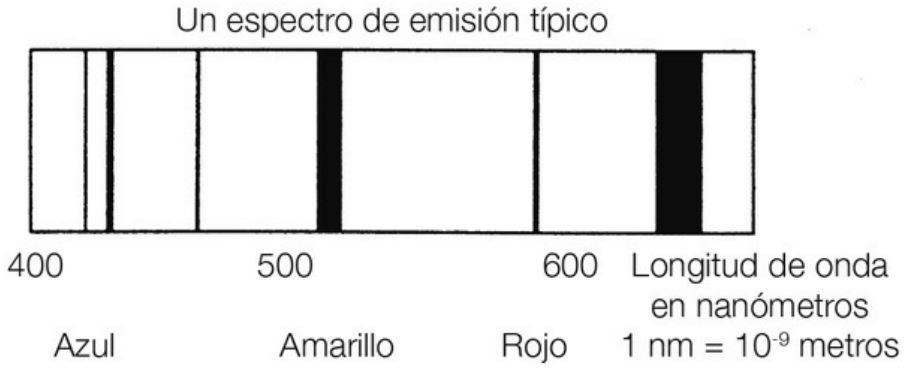


Figura 5

A cada línea del espectro de emisión se le puede asignar un valor numérico preciso según su longitud de onda. Las líneas parecían repetirse como una secuencia armónica.

Pero la fórmula para dicha secuencia eludió a todos hasta 1885, cuando el suizo Johann Balmer, maestro de una escuela secundaria femenina en Basilea, descubrió una. Era como sigue: «Cuadrar el número 3. Dividir uno entre el resultado y restar esta fracción a 1/4. Multiplicar el resultado por el número 32.903.640.000.000.000». Esto da la frecuencia (y por tanto la longitud de onda) de la línea roja en el espectro del hidrógeno.

Justo la clase de cosa que se podía esperar de un maestro de escuela de provincias (y quizá por eso mismo no dieron con ella mentes más brillantes).

Pero la fórmula no era tan torpe como parece. Si en lugar de 3 se empieza con el número 4, se obtiene la línea verde del espectro, y con el 5 se obtiene la frecuencia de la línea violeta. Cuando se descubrieron más líneas en el espectro de emisión del hidrógeno, se encontró que los números siguientes (6, 7, 8 y otros) daban cifras que, curiosamente, correspondían a su frecuencia. La fórmula de Balmer funcionaba, pero nadie sabía por qué. Más intrigante aún, nadie tenía ni idea de lo que significaban las líneas espectrales. Simplemente se aceptaba que cada elemento tenía su «firma».

Asombrosamente, Niels Bohr era casi por completo ignorante de todo lo relacionado con la espectroscopia cuando empezó a trabajar sobre el modelo «sistema solar» del átomo de Rutherford. Según la leyenda, un día Bohr estaba hojeando un libro de texto escolar de física y se topó casualmente con la fórmula de Balmer. Intrigado por su intratable singularidad, empezó a hacer cuentas mentales. Entonces llegó el momento «eureka». Se dio cuenta de que la fórmula de Balmer se podía escribir de otra manera, usando la constante *h* que Planck había empleado en su fórmula destinada a establecer el tamaño de los cuantos, en su teoría de la luz. *¡Esto significaba que el espectro de un elemento tenía relación con la teoría cuántica!* ¿Pero de qué manera exactamente? Bohr se concentró en el elemento más simple de todos, el hidrógeno. Según la representación del átomo de Rutherford, el hidrógeno tiene un solo electrón que orbita alrededor del núcleo central. De acuerdo con las leyes de la física clásica debería irradiar una sola banda de color. En su lugar irradiaba varias bandas separadas, conectadas según un patrón fijo y regular (conforme al 3, 4, 5, etc., de la fórmula de Balmer).

En teoría, el electrón único del átomo de hidrógeno podía girar alrededor del núcleo describiendo todo tipo de órbitas diferentes. Cuanto mayor el radio, a mayor velocidad orbitaría el electrón, y por tanto mayor sería su energía. De modo que si el electrón pasaba a una órbita menor, tendría que emitir energía, cosa que haría en forma de luz. La energía emitida por el átomo era lo que conformaba su espectro. Bohr vio enseguida lo que esto quería decir. Las precisas bandas energéticas que conforman el espectro estaban relacionadas de algún modo con las diferentes órbitas del electrón. Bohr se percató de que para emitir la cantidad fija de energía requerida, el electrón tenía que moverse entre ciertas órbitas fijas. Mientras el electrón tuviera una órbita fija, el átomo se hallaría en lo que Bohr llamó su «estado estacionario». Solo cuando se moviera entre estas órbitas fijas emitiría la cantidad fija de energía necesaria para producir un determinado tipo de banda en el espectro. Por ello entendió que las órbitas fijas de estos estados estacionarios estaban relacionadas con la fórmula de Balmer, pues esta daba las cifras para las bandas en el espectro de emisión.

Como hemos visto, en un momento de inspiración Bohr se dio cuenta de que se podía reescribir la fórmula de Balmer con la constante de Planck, relativa al comportamiento de los cuantos. *¡Esto suponía que las diferentes órbitas del electrón en el átomo de hidrógeno estaban fijadas de acuerdo con la teoría cuántica!* La estructura del átomo estaba determinada por la teoría cuántica.

Recapitulando: en cada estado estacionario el electrón tiene un radio fijo diferente. Bohr ya se había dado cuenta de que estos estados debían estar relacionados con la fórmula de Balmer para las bandas espectrales. ¡Así que cada radio fijo de electrón estaba relacionado con las diferentes aplicaciones de la fórmula de Balmer! En otras palabras, Bohr se había dado cuenta de que tanto la fórmula de Balmer para las bandas espectrales *como* la teoría cuántica tenían conexión con la estructura del átomo.

La fórmula de Balmer para colocar bandas espectrales empieza diciendo «cuadrar el número 3…» (o 4 para el verde, 5 para el violeta, o 1, o 2, y así sucesivamente). Esto suponía que los radios fijos del electrón guardan exactamente la misma relación, de modo que ahora era relativamente fácil para Bohr calcular los radios de estas órbitas. El diagrama siguiente muestra el modelo de Bohr de las primeras cuatro órbitas del electrón en los estados estacionarios del átomo de hidrógeno.

El radio de cada órbita está relacionado con el número requerido para la fórmula de Balmer. La diferencia entre los radios da la diferencia entre los estados energéticos, que a su vez cuadran con las bandas energéticas del espectro.

La diferencia entre estas órbitas puede haber dado las cifras correctas para el espectro del hidrógeno, ¿pero cómo se liberaba la energía? Muy sencillo, según Bohr. El electrón «salta» de una órbita a otra, simplemente.

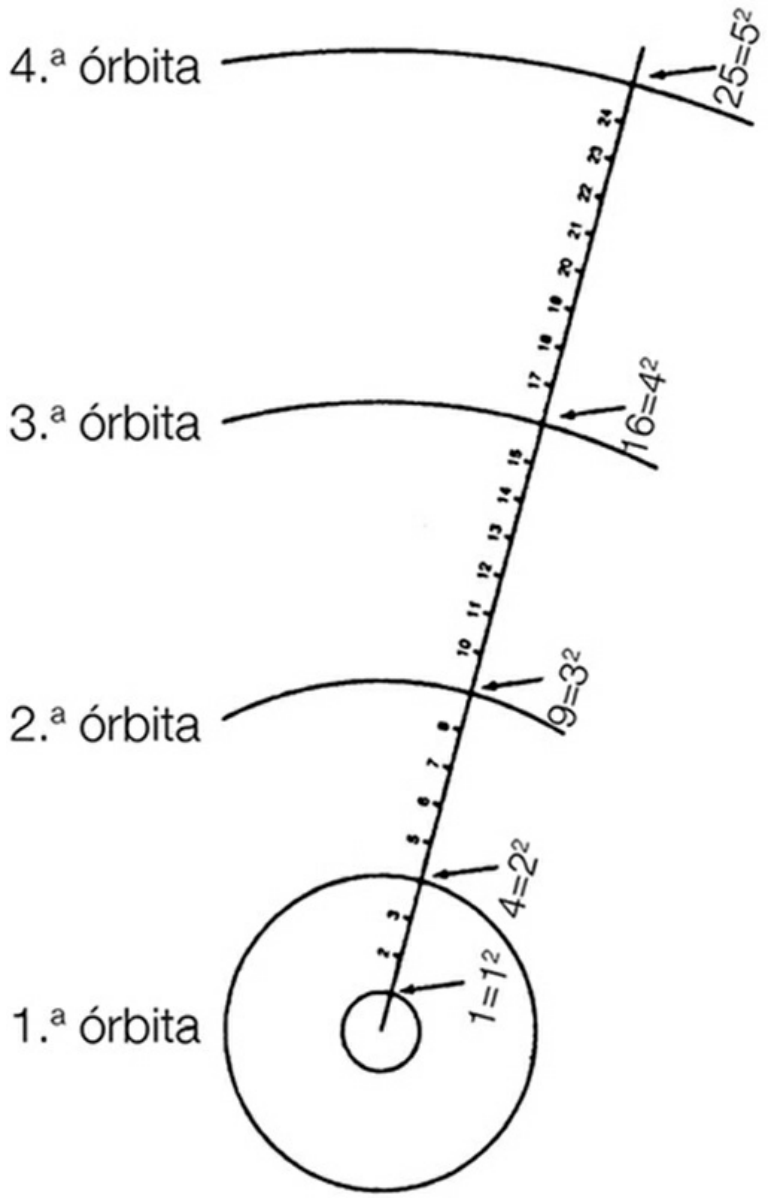


Figura 6

Imaginen un tren desplazándose por una vía fija (el electrón en su órbita fija).

En contra de todas las leyes de la física, el tren salta repentinamente a una vía interior que tiene a su lado. Al hacerlo, despide un destello de luz (se libera una banda de color para el espectro del hidrógeno).

Según las leyes de la física clásica esto era sencillamente imposible. Como se ha dicho ya, lo lógico es que el electrón fuera irradiando energía de forma continua a medida que orbita, y esta energía sería emitida en una sola banda del espectro. Asimismo, irradiando energía de este modo el electrón tardaría menos de un nanosegundo (10^{-9} segundos) en estrellarse contra el núcleo. Obviamente, la física clásica no podía explicar lo que ocurría. El modelo de Bohr sí podía, aunque contradijera todas las reglas. Según el

modelo de Bohr, en el estado estacionario el electrón *no* emite energía alguna. El electrón solo emite energía cuando salta de una órbita más externa a otra interna. (Cuando salta de una órbita interna a otra más alejada, la energía es *absorbida*.) Así que no solo la estructura del átomo, sino también el comportamiento de sus partículas subatómicas parecía concordar con la teoría cuántica.

El esquema de Bohr era una mezcla curiosa. Obedecía muchas de las leyes de la física clásica (ciertos elementos de la dinámica de los cuerpos en órbita, por ejemplo), a la vez que contradecía otras (como las leyes de la causalidad). En cualquier caso, tenía un rasgo sensacional. *Concordaba de forma precisa con la teoría cuántica de la luz de Planck.* La luz emitida por un electrón que salta de una órbita a otra no sería continua. Sería emitida en ráfagas, igual que los «cuantos» de Planck.

El diagrama inferior muestra el esquema de Bohr para el átomo de hidrógeno, con los diferentes radios del electrón. Las flechas indican los varios saltos de una a otra órbita que dan lugar a las diferentes frecuencias en el espectro del hidrógeno.

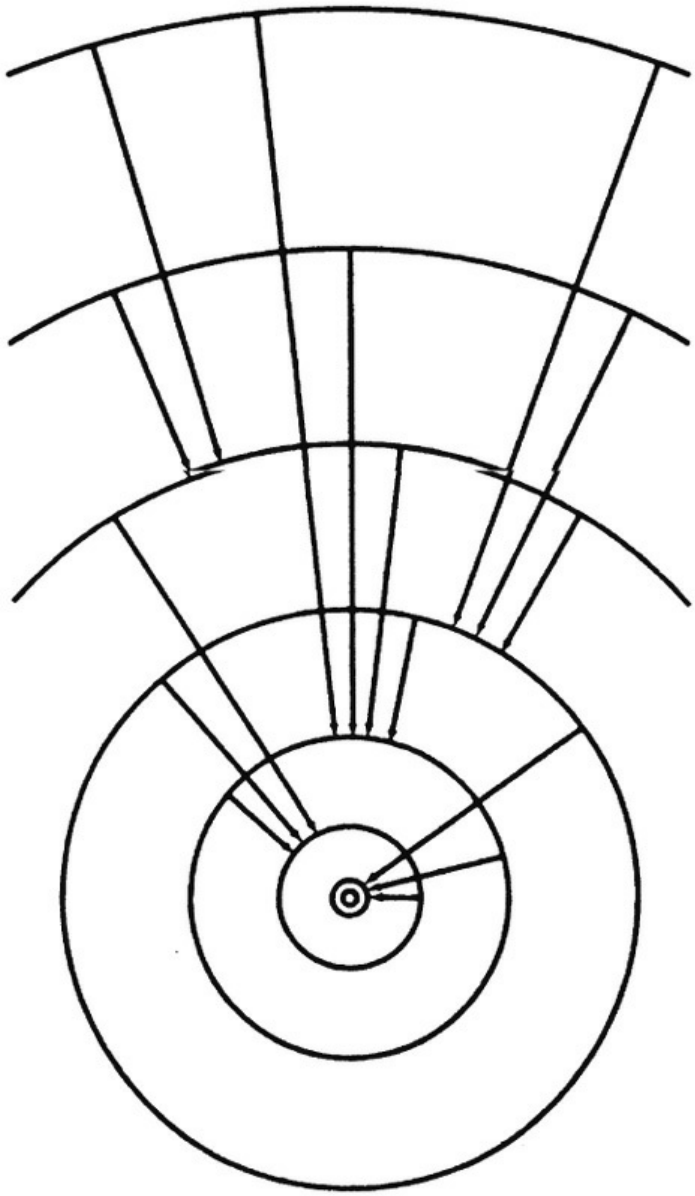


Figura 7

La teoría cuántica podía explicar cómo era emitido el espectro del átomo de hidrógeno. Junto con la explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico, parecía confirmar la noción original de Planck de la teoría cuántica. Más aun, extendía de modo considerable la aplicación de la idea de Planck. Bohr mostró que la teoría cuántica era esencial para la comprensión de los fenómenos subatómicos, y de paso produjo el primer esquema completo de una estructura atómica estable. Aquí estaba la nueva física que explicaba el comportamiento anómalo de las partículas subatómicas.

Bohr inició su trabajo sobre la estructura atómica en 1912, después de su traslado de la Universidad de Cambridge a la de Manchester para trabajar con Rutherford. (Por uno de esos caprichos del destino, otro gran pensador del siglo XX cogió el tren en dirección

opuesta. En 1912 el filósofo Wittgenstein dejaba la Universidad de Manchester para trasladarse a Cambridge.) Rutherford estableció pronto una buena relación de trabajo con su nuevo y joven investigador, aunque no le convencía mucho lo que Bohr había decidido investigar: quería encontrar un respaldo sólido para el inestable esquema «solar» de Rutherford para el átomo. Rutherford consideraba su esquema como «provisional». Era demasiado teórico y no había sido puesto a prueba lo suficiente como para merecer confianza; a su modo de ver no se podía construir nada sobre una noción semejante. Pero edificar sobre la teoría era la especialidad de Bohr, y parecía tener un olfato infalible para las teorías duraderas. Pese a sus reservas, Rutherford no tardó en animar a Bohr con el mismo franco entusiasmo (combinado con duros interrogatorios) al que sometía a todos los miembros de su equipo. Por las mañanas Rutherford tenía la costumbre de marchar por los laboratorios cantando «Onward Christian Soldiers» (Adelante, soldados de Cristo). Era una época emocionante para la ciencia, y para los implicados se parecía mucho a una cruzada. La brecha entre el nuevo y joven mundo y el monolito de antiguas certezas se abría en toda la cultura europea. Eran los tiempos en que Europa dominaba el mundo, los últimos días de grandeza del Imperio austrohúngaro, pero también los tiempos del cubismo, la relatividad y el cine mudo.

Al final del curso estival Bohr dejó Manchester y volvió a Dinamarca. Dos años antes su querido hermano Harald había marchado a ocupar un puesto en la Universidad de Göttingen, cuya reputación en matemáticas no era superada por ninguna otra universidad. Fue en este periodo de desacostumbrada soledad que Niels conoció a una estudiante de pelo rubio y esponjado llamada Margarethe Norlund. Niels y Margarethe quedaron prendados el uno del otro desde el primer momento. Ella le ayudó a preparar la versión final de su tesis de doctorado, y se comprometieron antes de que Niels regresara a Inglaterra. Parece que tuvieron éxito en crear una relación perfectamente convencional, tan sosa (para los demás) como profunda. El concepto de «amor verdadero» se extinguió hace tiempo en las sociedades avanzadas, convertido en algo nauseabundo por obra de la sentimentalidad empalagosa, reventado por la psiquiatría y saboteado por el divorcio. Pero en los primeros años del siglo XX el amor verdadero estaba vivito y coleando, y se esperaba de él que durara toda la vida.

Cuando Niels volvió a Copenhague en el verano de 1912, se casó con Margarethe.

Las fotos de la pareja muestran a un Niels sorprendentemente juvenil, con sus rasgos gruesos y sensuales aligerados por una sonrisa. Apoyada en él, vemos a su joven mujer con un aire de felicidad inconfundible, con el brazo entrelazado con el suyo. Parecen perfectamente felices el uno con el otro, un entendimiento que habría de durar cincuenta años.

Después de su matrimonio Bohr fue nombrado profesor asistente en la Universidad de Copenhague, pero mantuvo lazos estrechos con Manchester. Mantenía correspondencia regular con Rutherford y sus colegas sobre sus progresos. El escrito final de Bohr sobre la estructura atómica fue revisado varias veces.

Algunas revisiones fueron hechas en respuesta a cuestiones técnicas suscitadas por sus corresponsales en Manchester, pero muchas se debían al método de redacción de Bohr.

Era un escritor penosamente lento, siempre en busca de un significado más preciso. Le gustaba sumergirse en las palabras, en lugar de limitarse a usarlas. Era como si su proceso creativo tuviera lugar en el lenguaje en lugar de utilizarlo como medio de expresión. (Pese al estructuralismo, hay una distinción aquí, como la hay entre sintaxis y metáfora.) El caso es que esto resultaba en una lectura difícil, y cuando la técnica de Bohr se extendió a las aulas, demostró ser un serio inconveniente, tanto para el hablante como para el receptor. Por suerte este defecto quedaba compensado por su evidente entusiasmo y la pura brillantez de sus ideas. Comprender una clase de Bohr tenía algo de hazaña intelectual que ponía a prueba todos los recursos de los atletas intelectuales. Solo los dotados de una concentración maratoniana y una velocidad de comprensión de esprínter podían aguantar el ritmo.

En marzo de 1913 Rutherford recibió la versión final del artículo de Bohr. Después de leerlo, Rutherford le escribió: «Supongo que no tienes inconveniente en que conforme a mi criterio suprima cualquier cosa que considere innecesaria en tu escrito». Bohr cogió el primer barco para Inglaterra y se plantó en la oficina de Rutherford a la mañana siguiente antes de que este pudiera terminar el primer verso de «Onward Christian Soldiers». Durante todo el día y varias horas de la noche Bohr defendió su escrito línea por línea. Finalmente, el maduro Rutherford cedió a la persistente insistencia del serio joven danés. El artículo se publicó sin cortes en el *Philosophical Magazine*, y causó sensación. De la noche a la mañana Bohr se convirtió en el *enfant terrible* del átomo.

Bohr había sugerido que la teoría cuántica era la manera de funcionar de los átomos. Sus ideas fueron despachadas como tonterías. ¿Cómo podía la base fundamental de la materia descansar sobre algo tan inestable? Para muchos, la teoría cuántica seguía sin ser más que ese «invento alemán» demasiado ingenioso que no podía durar. Sorprendentemente, fue ridiculizada incluso en Göttingen.

Harald Bohr defendió bravamente a su hermano: «Si Niels dice que algo es verdad, debe ser verdad». Uno de los principales físicos teóricos de Alemania, Max von Laue, estaba tan indignado con las ideas de Bohr que anunció: «Si esta teoría es correcta, abandonaré la física». (Por suerte se le pudo disuadir de tan drástica acción, y más tarde incluso llegó a ser íntimo amigo de Bohr.) Esta, y otras reacciones furibundas por el estilo, no son del todo achacables a la obstinación o el prejuicio. Muchos sentían que la ciencia no podía seguir por este camino sin destruirse a sí misma. La explicación de Bohr era simplemente *acientífica*. No solo desafiaba las leyes de la física clásica, sino a la propia lógica. Describir la estructura del átomo con una combinación de física clásica y teoría cuántica era absurdo. Los principios de la física clásica y los de la teoría cuántica eran *contradictorios*.

Peor aún para Bohr, no tardó en ponerse de manifiesto que su modelo del átomo de hidrógeno no era lo bastante complejo para dar cuenta de algunos detalles sutiles del espectro del hidrógeno. El problema acabaría siendo resuelto por un profesor de física de la Universidad de Múnich, Arnold Sommerfeld, el primer creyente de relevancia en la teoría cuántica tras Einstein. Sommerfeld aplicó la teoría de la relatividad de Einstein al movimiento de los electrones alrededor del núcleo central, y se dio cuenta de que estas

órbitas tenían que ser elípticas (más parecidas aún al *auténtico* sistema solar). Esto acabó conduciendo al siguiente esquema del núcleo y las diferentes órbitas fijas del electrón.

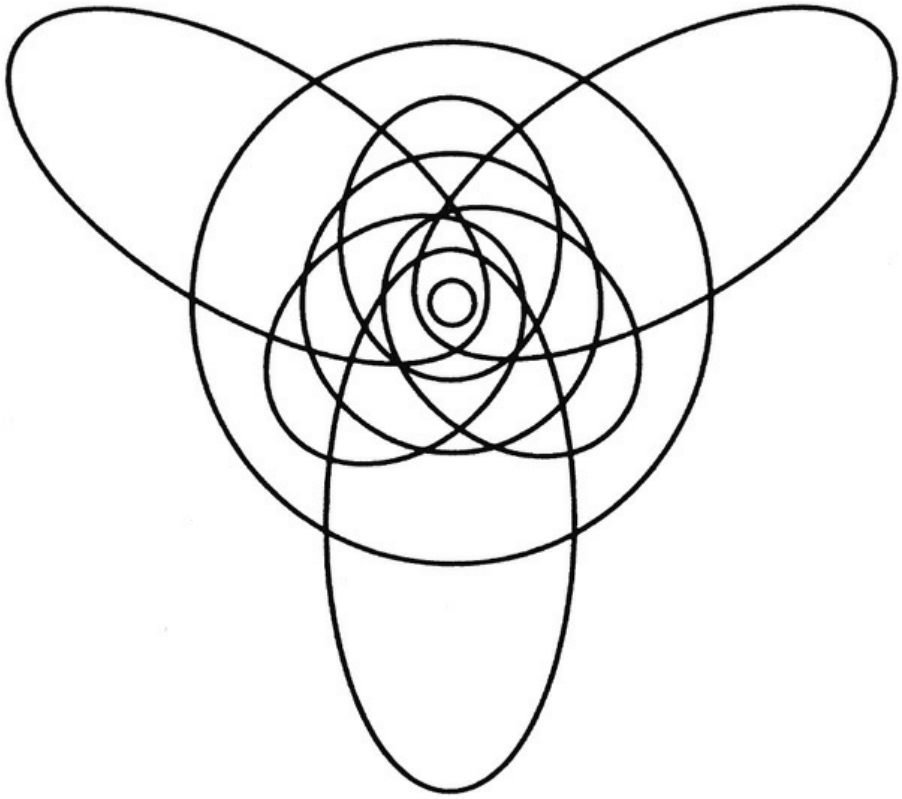


Figura 8

El modelo de Sommerfeld podía dar cuenta de las líneas más finas del espectro del hidrógeno, pero quedaban algunos problemas serios. La contradicción fundamental entre la teoría cuántica y la física clásica se estaba mostrando intratable. Además, el esquema de Bohr podía cuadrar con el átomo del hidrógeno, que tenía un solo electrón, pero no tardaron en surgir las dificultades cuando se intentó aplicar a estructuras atómicas más complejas. ¿Era este átomo cuántico del hidrógeno una anomalía, una excepción? Bohr tuvo que forcejear con el trabajo teórico terriblemente complejo que suponía tratar de extender su modelo de una sola estructura atómica particular al plan general de *todas* las estructuras atómicas.

Este trabajo le exigía mucho tiempo y energía. Cuando Rutherford le ofreció un nuevo puesto no docente en Manchester en 1914, Bohr aceptó gustoso. Antes de que pudiera ocupar el puesto estalló la Primera Guerra Mundial. Dinamarca permaneció neutral, pero hubo combates navales entre navíos británicos y alemanes frente a las costas danesas. Gran Bretaña logró controlar el mar del Norte y garantizar un paso seguro a los barcos neutrales. Aun así, el ferry que llevó a Bohr y a su esposa a Gran Bretaña hubo de seguir una ruta larga y desviarse alrededor de las costas escocesas, entre la niebla y las

tormentas.

Bohr siempre había creído en el internacionalismo de la ciencia: se trataba de conocimiento en beneficio de la humanidad, no de las diferentes naciones. Este punto de vista hallaba eco en varios miembros de la generación ascendente de científicos alemanes. Pese a las barreras impuestas por la guerra, Bohr, en Manchester, no tardó en recibir noticias de Alemania. Así pudo saber que algunas predicciones teóricas hechas a partir de su estructura atómica cuántica estaban ya desembocando en avances espectaculares para la nueva ciencia de la física subatómica. Aunque las preguntas sin respuesta suscitadas por la estructura de Bohr seguían allí, se iba haciendo evidente que explicaba demasiadas cosas como para abandonarla. A Bohr le emocionaba este desarrollo de los acontecimientos.

Tanto era así que dio el paso poco habitual de intentar confirmar una de las predicciones alemanas por medio de un experimento práctico.

Los complejos aparatos que exigía el experimento requerían intrincadas y menudas piezas de cristal, y Rutherford se aseguró de que Bohr contara con los servicios del mejor hombre disponible. Este resultó ser un alemán llamado Otto Baumbach.

Solo el inmenso prestigio de Rutherford pudo garantizar que un extranjero de una nación enemiga tuviera las manos libres para dirigir un laboratorio en plena guerra. Por desgracia, el experto soplador de vidrio no tardó en sentirse incómodo trabajando solo en territorio enemigo. En momentos de estrés tenía la manía de pronunciar airados discursos de propaganda antibritánica, informando a los asombrados científicos de lo que les pasaría exactamente cuando los alemanes ganaran la guerra y se hicieran cargo del laboratorio. A diferencia de los demás, a Bohr no le preocupaba: «Todos los buenos sopladores de vidrio son temperamentales», dijo. «Lo único que hace es desahogarse con estas tonterías ultrapatrióticas.»

El final de la situación superó a todos, y tras una serie de ardorosos incidentes Otto fue detenido e internado. Por desgracia, a esto siguió otro incidente aun más ardoroso, un incendio en los aparatos que redujo las insustituibles piezas de cristal de Otto a un montón de añicos. Una vez más, los esfuerzos de Bohr en el laboratorio estaban condenados.

A medida que iba siendo reconocida la enorme importancia de los trabajos de Bohr, las autoridades danesas empezaron a comprender su pérdida. En un gesto sin precedentes, la Universidad de Copenhague ofreció una cátedra a Bohr a sus treinta años, con la promesa de que si volvía pondrían fondos a su disposición para que organizara un instituto especial desde el que podría continuar sus investigaciones.

En 1916, mientras las flotas británica y alemana preparaban su encuentro cerca de la costa de Jutlandia, los Bohr hicieron el peligroso viaje de vuelta por el mar del Norte. Margarethe estaba embarazada, y unos meses más tarde nació su primer hijo en Copenhague. El ateo Bohr llamó a su hijo Christian en honor a su padre, también ateo. «Será para siempre un recuerdo de vuestra estancia en Manchester», le escribió Rutherford tras recibir la noticia. De hecho, el recuerdo de Manchester sería aun más profundo para Bohr. Rutherford había llenado el vacío dejado en su vida por la muerte

de su padre. El serio, algo ingenuo y joven Bohr vino a considerar al robusto y bondadoso gran hombre como una figura paterna y un modelo. Bohr nunca olvidaría el laboratorio de Rutherford en Manchester. Así es como se debía practicar la ciencia: en un ambiente de camaradería y discusión fructífera en el que todos participaran. Si el joven Bohr hablaba, el gran Rutherford escuchaba. Cuando Bohr montara su propio instituto como se le había prometido, no lo olvidaría, y el efecto sobre la ciencia sería incalculable. No es exagerado decir que al favorecer este tipo de ambiente en su propio laboratorio Bohr revolucionaría la ciencia del siglo XX.

Pero no todos los que le conocieron apreciaban su informalidad. Al convertirse en catedrático de física de la Universidad de Copenhague, se esperaba que Bohr compareciera vestido de chaqué y guantes blancos a una audiencia con el rey.

Bohr apareció el día señalado y fue formalmente presentado al rey Christian X, militar algo cascarrabias y gran maniático de la etiqueta cortesana. El rey dio un cordial apretón de manos a Bohr y dijo lo complacido que estaba de conocer a tan gran futbolista. Bohr se sintió obligado a señalar que *él* no era el Bohr futbolista famoso, sino su hermano. El rey se quedó atónito. Una de las reglas básicas de la etiqueta cortesana estipula que *nunca* hay que contradecir al rey, diga lo que diga. Christian X decidió pasar por alto este grave atentado contra el decoro y dio a Bohr otra oportunidad. Empezó otra vez desde el principio, diciendo lo complacido que estaba de conocer a tan gran futbolista. Bohr optó por una táctica diferente. Estaba acostumbrado a explicar cosas a los grandes: siempre conseguía que Rutherford le entendiera al final. Sí, era futbolista, lo reconocía, pero era su hermano el futbolista *famoso*. Indignado, el rey declaró: *«Audiensen er forbi!»* (la audiencia ha terminado), y a Bohr se le indicó que podía marcharse, de la manera habitual, alejándose hacia la puerta sin volver la espalda al rey.

Pese a la metedura de pata, las autoridades danesas mantuvieron su promesa. En 1918 empezaron las obras del nuevo Institut for Teoretisk Fysik, y Bohr fue nombrado futuro director del mismo. Pese al nombre, el instituto habría de albergar también una serie de laboratorios costosamente equipados para realizar trabajos prácticos. Los fondos iniciales fueron aportados por Carlsberg, fabricantes de, probablemente, la mejor cerveza de Dinamarca. (En Dinamarca la caridad empieza por la fábrica de cerveza: Carlsberg apoya a la ciencia, Tuborg a las artes.) Pero como todos sabemos, la cerveza por sí sola no es apoyo suficiente. El propio Bohr se vio obligado a ir a la caza de fondos para su nuevo instituto, antes de que pudiera abrir por fin en 1921.

El instituto empezó rápidamente a atraer a científicos jóvenes y ambiciosos de toda Europa, todos ellos ansiosos por aprender de Bohr y trabajar con él. Como resultado, no tardaron en hacer alentadores avances en Copenhague. Sobre la base del modelo atómico de Bohr, se había podido predecir la existencia de un elemento hasta entonces desconocido, el elemento n.º 72. Por medio del análisis espectral, el elemento n.º 72 fue identificado por primera vez en el Instituto de Copenhague. El descubrimiento de este nuevo elemento ayudó mucho a respaldar la obra de Bohr y se le llamó hafnio (por el nombre de København –Copenhague– en latín).

Pero el descubrimiento no tardó en topar con problemas. Fue disputado nada más salir

a la luz. El célebre experimentador irlandés septuagenario Arthur Scott protestó públicamente, anunciando que había descubierto este elemento nueve años antes, en 1913, y que lo había llamado celtio en honor de su patria. La prensa popular se sumó enseguida a la disputa, convirtiendo el asunto en una cuestión de orgullo nacional en ambos países. Apenas acababan Bohr y su instituto de ganarse una reputación internacional, parecía que por ser acusados de tramposos iba a quedar arruinada. Scott apareció en público blandiendo un tubo de ensayo con una muestra de celtio. Las cosas llegaron a tal punto, que Rutherford fue llamado para zanjar la cuestión. Rutherford acabó convenciendo a Scott de que mandara una muestra de celtio a Copenhague para su análisis espectral. No contenía ni rastro del elemento n.º 72. Algunos elementos tienen una media vida, otros una existencia más breve aún. El celtio se desvaneció entre las brumas de la leyenda química, y no se ha vuelto a saber de él (ni siquiera en Irlanda).

En 1922 Bohr recibió la mayor de las distinciones, el Premio Nobel de Física.

Fueron años memorables para los Premios Nobel de Física. En los siete años siguientes a 1918 fue ganado por Planck, Einstein, Bohr, Millikan y Hertz, pero no todo fueron gigantes. En 1919 lo ganó Johannes Stark, quien más tarde trató de extirpar de la Alemania nazi la «ciencia judía», es decir, la relatividad, la teoría cuántica, la física nuclear y otras tales basuras racialmente inferiores.

Pese al reconocimiento público, la teoría cuántica estaba todavía en mantillas.

Era una situación única para realizar grandes progresos, pero aún no podía construir un fundamento sólido para sí misma. Eran tiempos emocionantes. A veces alguno de los jóvenes y brillantes colegas de Bohr le preguntaba hacia dónde creía que se dirigía la ciencia. Bohr cogió la costumbre de citar el *Fausto* de Goethe: «¿Cuál es el camino? No hay camino. Adelante hacia lo desconocido».

Tomemos por ejemplo, la frecuencia de las líneas emitidas en el espectro de un átomo. Según el esquema cuántico, estas aparecen cuando el electrón «salta» de una órbita a otra, y no se emite radiación alguna cuando el electrón gira alrededor del núcleo en su «estado estacionario». Sin embargo, la mecánica clásica decía exactamente lo contrario. La radiación era producida por el electrón mientras orbitaba alrededor del núcleo, y podía ser calculada en consecuencia. Es obvio que ambos esquemas no podían ser ciertos. Pero Bohr encontró que cada esquema de «salto» cuántico podía ser «coordinado» con una órbita mecánica clásica correspondiente. El átomo podía ser clásico o cuántico.

Ciertamente, para las frecuencias más bajas, la teoría cuántica y la mecánica clásica daban *exactamente las mismas respuestas*. Esto llevó a Bohr a formular su famoso principio de correspondencia, que postulaba que a frecuencias lo bastante bajas, las leyes de la teoría cuántica y las de la mecánica clásica *se* convierten en idénticas.

Esto era absurdo, claro. Ilógico, imposible, impensable, etc. Pero era lo que ocurría, y además, ¡era lo que funcionaba! No es extraño que un científico de la estatura de Von Laue amenazara con dar la espalda a la física si la teoría cuántica resultaba ser cierta. Incluso Einstein chocó con Bohr. Fue la física cuántica la que dio pie a Einstein para hacer su famoso comentario: «Dios no juega a los dados con el Universo». La verdad es

que Bohr y sus colegas del Instituto en Copenhague estaban igual de desconcertados. Pero seguían siendo optimistas; estaban decididos a seguir avanzando por este camino cada vez más tortuoso («no hay camino»). El propio Bohr era consciente de que su principio de correspondencia era solo un remiendo de retales.

Pero estos «retales» estaban dando lugar a avances sin precedentes en el conocimiento científico. Ya en los primeros años de la década de los veinte la teoría cuántica atraía a las mejores mentes del mundo científico. Cada cual echaba mano de lo que podía. Físicos que no habían nacido cuando Planck propuso la teoría cuántica por primera vez estaban produciendo teorías brillantes. Era una verdadera ciencia del siglo XX, y su centro principal estaba en el recién creado instituto de Bohr. (De hecho, durante un tiempo los únicos otros participantes en la carrera fueron Göttingen y Cambridge, a donde ahora se había trasladado Rutherford.) La lista de los que trabajaron en el instituto de Bohr parece una lista internacional de la próxima generación de gigantes del siglo XX. El suizo Pauli, Heisenberg de Alemania, Dirac de Inglaterra, Landau de Rusia y otros genios menos conocidos; todos ellos trabajaron en algún momento en el instituto de Bohr. Y ahora la teoría cuántica se desarrolló hasta convertirse en la mecánica cuántica, a medida que la mecánica interna del esquema cuántico del átomo iba siendo desentrañada. ¿Cómo *funcionaba* en realidad el átomo de Bohr? La teoría cuántica estaba acumulando contenidos a una velocidad de vértigo. En la mejor tradición Bohr, se construía teoría sobre teoría sin cesar.

Gradualmente se iba formando un cuadro inmensamente complejo de este mundo subatómico en el que no rigen ni la lógica ni la causalidad. Pero hubo ciertos avances que cambiaron el cuadro entero. Uno de ellos se debió al rechoncho prodigio suizo de veintitrés años Wolfgang Pauli, quien tendía a caer en estados de profunda melancolía cuando descubría un problema que no podía entender. Uno de tales problemas era un efecto anómalo de los espectros de emisión atómicos que no podía ser explicado por el modelo de estructura atómica de Bohr. Este modelo (a veces conocido como el modelo Bohr-Sommerfeld) se había desarrollado considerablemente. Ya podía mostrar la disposición general de los electrones alrededor del núcleo de átomos más complejos (es decir, aquellos con un número superior al electrón único del átomo de hidrógeno). Los electrones estaban dispuestos en diferentes órbitas fijas alrededor del núcleo. Se averiguó que estas órbitas fijas estaban en grupos diferentes, cada uno de los cuales se llamó «concha» (o capa). Por ejemplo, se encontró que en todos los átomos la capa interior consiste en una sola órbita (representada en el diagrama siguiente por la órbita circular más interna). La capa siguiente contiene cuatro órbitas (como se representa en el diagrama con una órbita circular y tres elípticas).

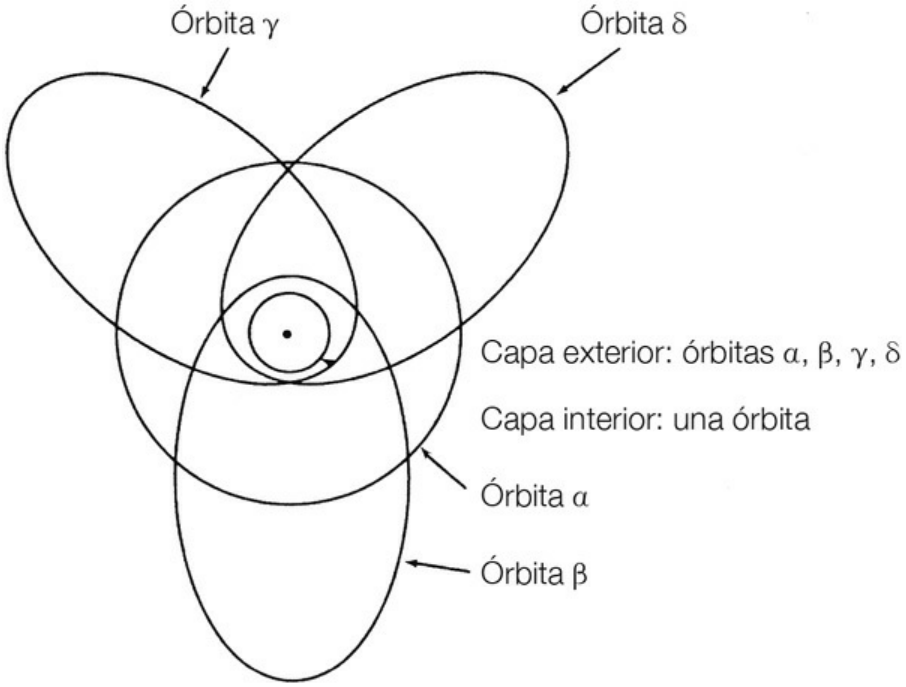


Figura 9

Según el esquema de Bohr, las órbitas interiores deberían estar cada vez más saturadas de electrones (pues para emitir energía, el electrón debe saltar a una órbita interior). Pero por alguna razón esto no sucedía. Pauli resolvería el problema en 1924.

A estas alturas Pauli estaba muy disgustado con su incapacidad para explicar la anomalía de los espectros atómicos que no encajaba en el modelo de Bohr, tanto que le había dado por deambular sin rumbo por las calles de Copenhague durante horas en un estado de profunda depresión. Pero la ayuda estaba a punto de llegar. Recientemente se había propuesto que los electrones quizá giraban sobre sí mismos mientras orbitaban alrededor del núcleo (de nuevo, como hacen los planetas alrededor del Sol). Aprovechando esta idea, Pauli no solo explicó la anomalía de los espectros atómicos, sino también por qué los electrones no se amontonan en las órbitas interiores.

Dicho de manera simple, Pauli mostró que cada órbita fija no podía contener más de dos electrones. Cuando esta estaba completa, el siguiente electrón quedaba *excluido* y debía ocupar otra de las órbitas de la capa. Si no quedaban órbitas con espacio libre en dicha capa, el nuevo electrón quedaba excluido y debía ocupar una órbita vacía en la siguiente capa exterior. Pauli lo llamó el principio de exclusión. No solo mostraba cómo evitaban los electrones amontonarse en las órbitas interiores; también explicaba la estructura de los elementos de la tabla periódica.

Por poner un ejemplo, el átomo de hidrógeno tiene un solo electrón en la capa interior. El elemento siguiente, el helio, tiene dos, completando así la capa.

Esto significa que es de algún modo más «completo»: es menos propenso a tomar un nuevo electrón o perderlo, siendo por tanto improbable que reaccione con otro elemento.

Esto explicaba por qué el helio había sido siempre uno de los llamados elementos inertes.

El tercer elemento, el litio, tiene dos electrones en la capa interior y uno en la siguiente. Como hemos visto en el diagrama precedente, la capa siguiente tiene cuatro órbitas, y por tanto sitio para hasta ocho electrones. Cuando se completa, tenemos un átomo con diez electrones en total (dos en la capa interior y ocho en la exterior). Este décimo elemento es el neón. Al igual que el helio antes mencionado, sus capas están completas, y ambos elementos tienen propiedades similares y pertenecen a los elementos inertes. La semejanza periódicamente repetida entre los elementos de la tabla periódica original de Mendeléyev quedaba ahora mejor explicada. Las propiedades de cada elemento están dictadas no solo por el número de electrones que contiene, sino también por su disposición en las capas orbitales y por la medida en que la capa exterior esté llena de ellos.

Aunque Bohr no colaboró con Pauli en la creación del principio de exclusión, sí desempeñó un papel en su concepción, como hizo en tantos avances de esta era dorada que vio nacer la mecánica cuántica (aproximadamente de 1924 a 1928). Durante todo el tiempo en que Pauli trataba de formular su principio, mantuvo una constante «discusión» con Bohr al respecto por medio de cartas y entrevistas durante sus estancias en Copenhague. De este modo Bohr se convirtió en una especie de figura paterna en lo referente a los avances de la mecánica cuántica. No siempre estaba de acuerdo con sus colegas más jóvenes, pero el ambiente de discusión fructífera entre iguales que creó en el Instituto desempeñó un papel fundamental en estos revolucionarios descubrimientos.

Otro avance sensacional tuvo lugar en 1925, de la mano del joven prodigio alemán de veintitrés años Werner Heisenberg, quien además de ser un físico brillante encontraba tiempo para ser un montañero de primera, un excelente pianista, podía memorizar pasajes inhumanamente largos de Goethe, y rara vez dormía más que unas pocas horas. Pese a dichos obstáculos, también se las arregló para seguir siendo humano, y no tardó en alcanzar un estrecho entendimiento con Bohr. Fue Heisenberg el que encontró la manera de superar lo ilógico del principio de correspondencia de Bohr. Tanto el esquema cuántico de la estructura atómica (el modelo Bohr-Sommerfeld) como el esquema mecánico clásico (el modelo de tipo «sistema solar» de Rutherford) estaban de acuerdo en que el átomo emite energía (luz), que produce el espectro de emisión del átomo.

Pero según la teoría cuántica esta luz viaja en forma de cuantos (paquetes de energía, u ondas-partículas), es decir, de manera discontinua. La teoría cuántica explica incluso por qué la luz viaja así: porque cada vez que los electrones «saltan» de una órbita fija a otra liberan «cuantos» de energía. Sin embargo, según la mecánica clásica, la luz se transmite en ondas continuas, de forma constante. Según el principio de correspondencia de Bohr, la mecánica clásica y la teoría cuántica convergen en las frecuencias bajas, hasta el punto de ofrecer las mismas respuestas y ser *idénticas*. Pero esto no podía ser así. Una cosa es continua o es intermitente, ¡no puede ser ambas cosas a la vez! (Si mi vaso está continuamente vacío, eso significa que nunca hay cerveza en él. Si está intermitentemente vacío quiere decir que alguien lo llena y yo lo vacío.) Heisenberg

encontró una manera brillante de esquivar esta contradicción lógica.

Problemas tales como la radiación energética continua/intermitente se pueden superar *simplemente concentrándose en la observación, y solo en la observación*.

Solo las propiedades medibles del átomo deben considerarse «reales». El concepto del átomo como diminuto sistema solar –concuerde con el modelo Bohr-Sommerfeld o con el modelo clásico– fue abandonado sin más. Como dijo Heisenberg: «¿Por qué hablar de un electrón invisible orbitando dentro de un átomo invisible? Si no se pueden ver, no son significativos». No importa visualizar algo como una onda continua o una partícula discontinua. Esto es irrelevante si lo que nos concierne es la *medición.* Todas las mediciones dependen de cómo se tomen, pero los resultados no pueden dejar de concordar unos con otros. Son solo resultados.

Era una intuición brillante, ¿pero cómo iban a expresarse dichas *mediciones* de manera significativa sin un esquema mental sobre el que encajarlas? (es decir, un modelo, como el del átomo «sistema solar»). La manera de superar el problema fue disponer las diferentes mediciones en líneas y columnas, en forma de matriz.

Así, aplicando la teoría de matrices sería posible predecir valores futuros para variables físicas (como las de las partículas) y probabilidades matemáticas para estados energéticos cambiantes (como los de las ondas). Estas columnas rectangulares de cifras resultaron mucho más útiles que cualquier esquema visual del átomo. Facilitaron la primera forma consistente de mecánica cuántica que permitió hacer predicciones, de un modo semejante al de la mecánica clásica.

¿Qué iba a pasar ahora? ¿Había que tirar por la ventana todo el ingenioso esquema «solar» del átomo sin más?¿Cómo podía ser erróneo el principio de exclusión de Pauli si servía para explicar tantas cosas del comportamiento de los elementos? La respuesta, claro, es que no lo era. Superando una ambigüedad, la mecánica cuántica había topado con otra.

Dos años después Heisenberg postuló su famoso principio de indeterminación, el último clavo en el ataúd de la física clásica. Elaborando sobre la noción de que solo podía obtenerse certeza de la medición, Heisenberg reconoció que, en lo que a la mecánica cuántica se refiere, ni eso puede ofrecer una certeza *total.* Por ejemplo, los electrones son tan diminutos que no importa cómo se mida su comportamiento; la manera de medir afecta a dicho comportamiento. Si se proyecta luz sobre un electrón para poder «verlo», se altera inevitablemente su velocidad o su posición. Como dijo Bohr: «Cualquier observación que concierna al comportamiento del electrón en el átomo tendrá como consecuencia un cambio en el estado del átomo». Pero sin servirnos de nada para medir el electrón, no podemos «verlo» en absoluto; en otras palabras, ¡no podemos saber nada de él! Era posible medir experimentalmente el momento de una partícula subatómica, pero no determinar a la vez su posición. Asimismo, se podía realizar un experimento con el fin de determinar su posición, pero entonces no se podía medir también su momento. Esta era la indeterminación básica del principio de indeterminación de Heisenberg.

Pero no fue la brillante joven generación de científicos europeos en exclusiva la

responsable de los asombrosos progresos de la mecánica cuántica a mediados de la década de los veinte. Bohr seguía produciendo su propio trabajo creativo. En 1927 postuló el «principio de complementariedad», que explicaba la dualidad posición/momento señalada por Heisenberg. Según la teoría de Bohr: «la evidencia obtenida bajo diferentes condiciones experimentales no puede ser abarcada por un solo esquema, sino que debe considerarse complementaria en el sentido de que solo la totalidad de los fenómenos agota la información posible sobre el objeto». En otras palabras, no puede haber un esquema general único, pero podemos utilizar una serie de esquemas complementarios para abarcar un mismo terreno. Estos no presentan contradicciones lógicas entre sí porque sus ámbitos de validez no se superponen.

Esto se ocupaba efectivamente también de la dualidad onda/partícula. Según el principio de complementariedad de Bohr, el que un ente se comporte como onda o como partícula depende simplemente del aparato que se utilice para medir su comportamiento.

Pero quedaban cuestiones importantes sin respuesta. Incluso después de reunir toda la información posible de todos los experimentos posibles, no era suficiente para realizar predicciones precisas. En el nivel cuántico nunca se podía saber *exactamente* qué iba a ocurrir a continuación, como se puede saber en la física clásica. Era posible medir con extrema precisión el momento de una partícula subatómica, y podía determinarse su posición con parecida precisión, pero no podían hacerse las dos cosas *al mismo tiempo.* Pero solo haciendo ambas cosas simultáneamente era posible realizar una predicción exacta de cómo se comportaría a continuación. Tal precisión era imposible en el nivel cuántico. La mecánica cuántica trabajaba con probabilidades: solo se podía predecir la probabilidad de que algo ocurriera.

Bohr se enfrentó a estas objeciones como sigue. De acuerdo, a nivel cuántico era imposible hacer predicciones precisas como las que se pueden hacer con fenómenos de mayor escala, pero aun así la mecánica cuántica era capaz de hacer predicciones sorprendentemente precisas por medio de las probabilidades. Tomando grandes muestras de electrones podía predecirse el curso general de su comportamiento futuro. Podía ser imposible predecir dónde estaría un único electrón en el futuro, pero era posible predecir con considerable precisión la pauta general de comportamiento de un grupo numeroso de electrones. Tales probabilidades eran más estadísticas que individuales. Las predicciones a nivel cuántico tenían que depender de la estadística y de la probabilidad, quizá no tan simples y precisas como la mecánica clásica, pero por lo general igual de efectivas.

Esto se aplicaba a todo tipo de fenómenos subatómicos, desde las líneas espectrales a la radiactividad. Por ejemplo, en la radiactividad el núcleo atómico se desintegra y emite una partícula alfa. La teoría cuántica seguía siendo incapaz de predecir exactamente *cuándo* un núcleo determinado se desintegraría y emitiría una partícula alfa. Sin embargo, por medio de las probabilidades era posible saber que un grupo de átomos radiactivos emitiría partículas alfa *a cierta velocidad.*

En 1929 Bohr inició una serie de conferencias anuales en el Instituto. A ellas asisitieron los mejores jóvenes científicos de Europa, muchos de los cuales habían pasado ya alguna temporada trabajando en el Instituto. Aquí se discutieron los problemas

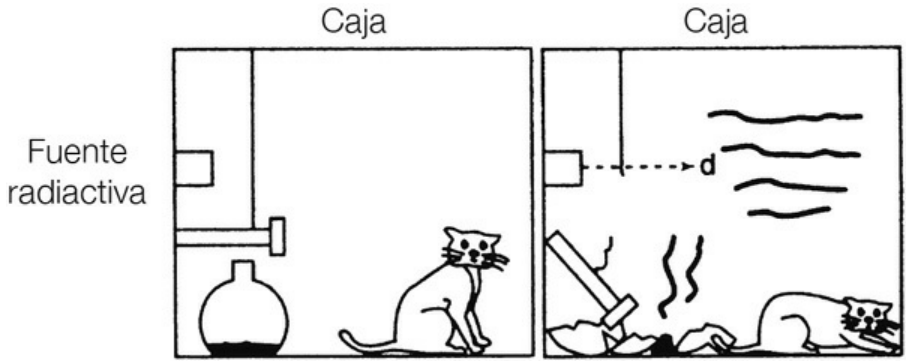
de la mecánica cuántica, problemas de inmensa complejidad al borde mismo del conocimiento científico. Al final de cada conferencia el acuerdo estaba lejos de ser unánime, pero el alma de las conferencias hacía lo posible por poner las cosas en su lugar. El insistente y serio Bohr, fumando en pipa, tenía una manera de superar a sus oponentes por la mera persistencia de sus argumentos cuando estaba seguro de tener la razón. Esto no daba resultado con el distraído Pauli, que se encerraba en sí mismo y seguía con sus propios pensamientos sin importar el rato que Bohr estuviera perorando.

Con otros era diferente. Heisenberg, al que no le faltaba carácter y que podía sentirse igualmente seguro de tener la razón, se vio reducido a lágrimas de frustración en cierta ocasión. (Más tarde arreglaron las cosas conviniendo en que el principio de indeterminación y el de complementariedad eran la misma cosa expresada de maneras diferentes.) Cuando la cosa iba demasiado lejos hasta para Bohr, se levantaba de su asiento de repente y salía al jardín. Los otros contemplaban cómo encendía un gran puro y se aplicaba con energía a «arrancar malas hierbas» de las parcelas de flores meticulosamente cuidadas del Instituto, que en ocasiones quedaban convertidas en baldíos para cuando terminaba una conferencia.

Las discusiones eran feroces y las posturas a menudo inamovibles, pero tenían lugar en un ambiente de cooperación internacional. Todos los presentes sentían que estaban tratando de aproximarse a la verdad. En esto consistía la ciencia y esa era la ocupación de los científicos. Las conferencias del Instituto de Bohr estaban lejos de ser un fenómeno único: era una época de grandes conferencias científicas internacionales, y no era raro que una veintena de luminarias se reuniera para discutir algún tema científico particular. Quizá las más conocidas de todas fueron las célebres conferencias Solvay celebradas en el Hotel Metropol de Bruselas. Fueron financiadas por el químico industrial belga Ernest Solvay, dueño de una fortuna gracias al proceso de amoniaco y sosa (utilizado en la manufactura de vidrio y jabón). En estas reuniones Bohr tuvo que defender sus posturas contra figuras de la talla de Einstein (que había recibido el Nobel precisamente por su trabajo sobre la teoría cuántica), Madame Curie (pionera de la investigación de la estructura atómica con su descubrimiento de la radiactividad), y el pugnaz físico austriaco Erwin Schrödinger. Einstein y Curie seguían convencidos de que la cuántica era un fenómeno pasajero, un intento teórico de ofrecer un contexto que abarcara anomalías que algún día quedarían resueltas. No así Schrödinger, que parecía decidido a destruir la cuántica, pero desde dentro.

Schrödinger tenía suerte de que le admitieran en las conferencias. Su excéntrica costumbre de viajar vestido de montañero, con botas, mochila y todo le creaba ocasionales dificultades para traspasar la puerta del elegante Hotel Metropol, pero Schrödinger se las podía arreglar con porteros y más. Cuando Heisenberg presentó su mecánica de matrices en 1925, Schrödinger la descalificó de inmediato y presentó su propia «mecánica de ondas» alternativa. (Esto soltó el zorro en el gallinero, como quería Schrödinger, hasta que se demostró luego que era matemáticamente equivalente a la mecánica de matrices de Heisenberg.) Más difícil de resistir fue el ataque de Schrödinger contra el enfoque probabilístico de la predicción en la cuántica. Era un sinsentido odioso,

declaró con su habitual estilo. Y luego procedió a abrir un feo agujero en la predicción de probabilidades. Lo hizo por medio del famoso, o infame ejemplo conocido como «el gato de Schrödinger». Schrödinger imaginó un gato dentro de una caja sellada.



Dentro de la caja hay también una fuente radiactiva, un martillo y una botella sellada de gas venenoso. Cuando el núcleo atómico de la fuente radiactiva se desintegra, libera una partícula alfa, que suelta el martillo, que rompe la botella, de la que sale el gas venenoso que mata al gato.

La teoría cuántica no podía predecir lo que haría cualquier átomo radiactivo individual, sino solo a qué *velocidad* general se descompondrían los átomos, es decir, el ritmo al que los átomos de la fuente radiactiva emitirían partículas alfa. Digamos que predice una probabilidad del 50% de que emita una partícula alfa por minuto. Aplicando a la caja la teoría cuántica, esto significa que pasado un minuto el gato no está del todo vivo ni del todo muerto, lo cual es, cómo no, ridículo.

El gato de Schrödinger atacaba también la noción central de la teoría cuántica, la de que un fenómeno no tiene validez hasta que se mide (y *cómo* se mida puede determinar *qué* es, onda o partícula). Desde este punto de vista, pasado un minuto el gato de Schrödinger está en un estado intermedio, ni vivo ni muerto, *hasta que alguien abra la caja y mire*. Solo *entonces* (es decir, en el momento de medir) tomará un valor (vida o muerte). Esto es evidentemente falso.

El gato tiene que estar o bien vivo, o bien muerto, sin que la medición tenga nada que ver en ello. Schrödinger estaba convencido de que como historia de terror, su bestia de los muertos vivientes sería más de lo que podrían resistir la predicción cuántica y su enfoque de «sin medida no hay valor». Pero no lo fue. Pese al absurdo del gato de Schrödinger, la mecánica cuántica sigue recurriendo a su método de predicción e insistiendo en que un fenómeno no tiene valor hasta que se mide. Asimismo, el principio de complementariedad (otro objeto del escarnio de Schrödinger) sigue siendo por lo general la posición estándar de la mecánica cuántica.

Algunas derivaciones del principio, sin embargo, no han resistido la prueba de los años. El principio de complementariedad se le subió un poco a la cabeza a Bohr, y empezó a verse a sí mismo como el gran anciano venerable del saber (no solo de la

ciencia). Vio correctamente que el principio de complementariedad era aplicable fuera de la mecánica cuántica. En biología, por ejemplo, hay dos enfoques. Los fenómenos biológicos se pueden clasificar desde un punto de vista funcional (como cuando decimos que el Homo sapiens es un zooide grupal) o ser estudiados en términos de análisis físico y químico (por ejemplo: la vitamina C es esencial para mantener la vida del organismo humano). En lugar de ver estos dos enfoques como opuestos, Bohr decía que era mejor considerarlos complementarios. Luego extendió el concepto a las arenas más movedizas de la sociología. En este terreno sugirió que deberíamos considerar el estudio del comportamiento humano y el (aparentemente opuesto) análisis de la transmisión hereditaria como complementarios a la hora de determinar los componentes principales de una cultura. Como cualquier otra cosa relacionada con esta supuesta ciencia, la sugerencia de Bohr era cuestionable. (La escapada sociológica de Bohr le condujo a peligrosas especulaciones raciales, pero hay que remarcar que estas no se parecían en nada a las peligrosas teorías que estaban surgiendo al mismo tiempo al otro lado de la frontera, en Alemania.) Bohr no hizo el ridículo de verdad hasta que aplicó su principio a la filosofía.

El principio de complementariedad suscita una cuestión importante para la epistemología (la teoría del conocimiento o fundamento filosófico que tenemos para afirmar que sabemos una determinada cosa), pero afirmar, como hizo Bohr, que los antiguos filósofos en realidad estaban esforzándose por llegar a expresar su principio parece una tontería. La física cuántica es un problema genuino para la filosofía. De hecho, cualquier filosofía que no la tenga en cuenta (caso de muchas) ocupa el mismo lugar que las obras de los antiguos filósofos. Son antigüedades fascinantes, pero inadecuadas para la experiencia contemporánea. En cualquier caso la física cuántica (y con ella el principio de complementariedad) no pueden *ser* filosofía. Es ciencia, que a su vez, es conocimiento humano. La filosofía (en este caso la epistemología) estudia los *fundamentos* del conocimiento humano.

La filosofía puede no tener casi nada que decir hoy en día (así como la ciencia lo tiene todo que decir) pero siempre será «más profunda» que la ciencia en este sentido.

Incluso en manos de alguien como Bohr. Por una vez le había fallado la profundidad a este brillante pensador conceptual, uno de los mejores del siglo.

Como comentó uno de sus colegas (en privado), Bohr estaba tan dotado para la filosofía como para la carretera: «Era un acto de fe sentarse en un automóvil conducido por Bohr». Si tenía calor, simplemente soltaba el volante y se quitaba la chaqueta como si estuviera sentado en una silla. Se salvaron muchas vidas gracias a que su esposa siempre insistía en sentarse a su lado para agarrar el volante en caso de necesidad. (Pese a la fuerza del argumento filosófico contra Bohr, ciertos avances recientes de la física cuántica tienden a apoyar su postura. Hay científicos que afirman, con cierta justificación, que la física cuántica ha secuestrado a la epistemología, dejando a la filosofía desnuda como el emperador en su traje nuevo. Pero queda la cuestión inevitable de que la ciencia y la filosofía no son la misma cosa.)

Por suerte, Bohr únicamente ejerció como gurú a tiempo parcial, y siguió haciendo

importantes contribuciones a la ciencia. Al igual que muchos de sus colegas, dedicó ahora su atención al núcleo del átomo. A finales de los años treinta presentó un modelo que describía la composición del núcleo atómico y su funcionamiento. Este esquema teórico ayudó a aclarar muchas de las ideas conflictivas que emergían como resultado de unas técnicas experimentales en rápido desarrollo. De nuevo, observó el comportamiento nuclear en términos de mecánica cuántica.

Bohr consideraba que el núcleo consistía en un grupo de partículas que mantenían su cohesión gracias a fuerzas de corto alcance, de modo similar a las moléculas de una gota de líquido. Cuando una partícula choca con este núcleo/gota, su energía es rápidamente absorbida entre las partículas en colisión, y se convierte en parte de la gota, que como resultado se calienta. Este estado durará un tiempo largo (en términos nucleares) durante el cual la energía contenida seguirá fluctuando al azar. El núcleo se descompondrá solamente cuando la energía fluctuante en aumento provoque una concentración de energía sobre una partícula que permita a esta escapar, de modo comparable a la evaporación que tiene lugar en una gota a la que se aplique calor. Sin embargo, en el caso de núcleos grandes y pesados (como el del uranio), la partícula que escapa provocará la división de la gota en dos mitades de similar tamaño. (Este proceso se denomina fisión nuclear.) Bohr fue el primero en describir lo que ocurre durante la fisión nuclear. Lo hizo en 1939, justo después de que fuera descubierta como resultado de un programa experimental realizado por el físico alemán Otto Hahn y su colega judeoalemana Lise Meitner, quien tuvo que huir de la Alemania nazi en pleno trabajo. Hahn, una vez completados los experimentos, envió secretamente los resultados a Suecia, donde Meitner los analizó y se dio cuenta de que había tenido lugar la fisión nuclear.

De ello informaron a Bohr, quien de inmediato se percató de las tremendas implicaciones del hecho. Durante una visita a Estados Unidos aquel mismo año, advirtió a Einstein de que la Alemania nazi disponía de los conocimientos teóricos necesarios para iniciar investigaciones encaminadas a la fabricación de una bomba atómica. Como resultado, Einstein escribió al presidente Roosevelt, quien rápidamente puso en marcha el Proyecto Manhattan con el objetivo de hacer antes una bomba atómica norteamericana.

En 1940 Dinamarca fue ocupada por la Alemania nazi, pero Bohr hizo todo lo posible por mantener la integridad del Instituto. La era de la cooperación científica internacional abierta había pasado hacía ya tiempo, por mucho que siguiera habiendo cooperación científica encubierta. Bohr permaneció secretamente en contacto con científicos británicos, y en 1941 recibió la visita de su antiguo colega Heisenberg, cuya relación con Bohr se había enfriado un tanto a consecuencia del desarrollo de los acontecimientos. Heisenberg fue uno de los pocos científicos de primera fila que se quedaron en la Alemania nazi. Su trabajo en el campo de la «ciencia judía» (es decir, la física teórica) le supuso ser vilipendiado en los círculos científicos nazis, en los que era calificado de «judío blanco». Sin embargo, se le ofreció un puesto dirigente en el programa de la bomba atómica alemana, y lo aceptó. En su encuentro con Bohr en el Copenhague

ocupado, Heisenberg entregó a Bohr un diagrama críptico que revelaba lo avanzado del programa atómico nazi. (El diagrama no era de la propia bomba, sino de un prototipo de reactor que no acababa de funcionar.) Los motivos de Heisenberg siguen siendo objeto de acalorado debate. Heisenberg diría más tarde que su deseo era influir en los científicos de ambos bandos para que abandonaran sus trabajos sobre la bomba. Bohr pensaba de otro modo, y quedó profundamente afectado por el encuentro (de nuevo, las opiniones difieren sobre sus *motivos* para estar disgustado). Bohr y su antiguo alumno favorito no superarían nunca lo que ocurrió en esta reunión.

En septiembre de 1943 Bohr supo que, a causa de su abierto desprecio por los nazis, iba a ser arrestado. Se organizó un rápido plan de huida. Bohr y su familia fueron a una casa de los suburbios de Copenhague. Al anochecer atravesaron a gatas un campo hasta una playa desierta. Aquí fueron recogidos por un barco pesquero que cruzó los quince kilómetros del estrecho hasta la Suecia neutral, pasando de largo frente a las patrulleras alemanas.

Al llegar, Bohr fue conducido rápidamente a Estocolmo. En cuanto se descubrió su huida, el servicio secreto alemán recibió orden de asesinarlo en cuanto se le encontrara. Aunque Estocolmo estaba infestado de agentes alemanes, y había muchos simpatizantes de Alemania en puestos influyentes, Bohr se las arregló para conseguir una audiencia con el rey. Antes de su huida había oído que estaba a punto de empezar el traslado de los judíos daneses a los campos de concentración. Pudo persuadir al rey de Suecia para que, poniendo en peligro la neutralidad sueca, protestara públicamente contra esta grotesca violación de los derechos humanos. (En parte gracias a esto, pero en mayor medida debido al ingenio y a la valentía de los daneses, solo quinientos de los 8.000 judíos daneses serían trasladados.)

Varios días después el gobierno británico envió un bombardero De Havilland DH.98 Mosquito sin insignias a Suecia para recoger a Bohr. Los agentes alemanes sabían ya del bombardero, sabían dónde estaba Bohr, y estaban decididos a hacer todo lo posible por evitar su encuentro. Tras una serie de aventuras y accidentes dignos de James Bond, Bohr fue por fin secretamente depositado en el depósito vacío de las bombas del mosquito, que despegó aprovechando la oscuridad. Consiguió eludir a la Luftwaffe al sobrevolar la Noruega ocupada y llegó al mar del Norte. Para entonces Bohr, que contaba cincuenta y siete años de edad, corría peligro de morir congelado.

Cuando el Mosquito aterrizó por fin en Inglaterra, le sacaron casi inconsciente por la hipotermia y la falta de oxígeno. Apenas había pasado en Inglaterra el tiempo suficiente para entrar en calor (cosa que llevaba un tiempo dada la escasez de combustible en la Gran Bretaña en guerra) fue embarcado hacia los Estados Unidos. Aquí se unió de inmediato al Proyecto Manhattan, viajando a los laboratorios secretos de Los Álamos donde se construía la bomba. El físico norteamericano Robert Oppenheimer, máximo responsable del proyecto, le dio la bienvenida, y Bohr pudo enseñarle a él y a sus colegas el diagrama que le había pasado Heisenberg, pero esto no acabó de tener el efecto tranquilizador que había pretendido. Para los americanos era obvio que tal reactor no funcionaría, pero creían que esto tendría que ser obvio también para los alemanes. O eso,

o el diagrama entregado por Heisenberg era una elaborada cortina de humo destinada a ocultar los verdaderos progresos realizados. (Sigue siendo un misterio. El hecho es que el proyecto alemán de bomba atómica nunca acabó de despegar. En qué medida esto podría deberse a los deliberados esfuerzos de Heisenberg, es aún materia de feroz discusión.) Las primeras dos bombas atómicas estadounidenses fueron lanzadas sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945, poniendo el punto y final a la Segunda Guerra Mundial. Bohr había participado en la creación de la bomba atómica, y quedó horrorizado por sus efectos. Empezó inmediatamente a utilizar su prestigio para presionar desde las esferas más altas con el fin de que se detuviera sin demora toda investigación sobre bombas atómicas. Su empeño fue recibido con rechazo, en el mejor de los casos. (Churchill era partidario de encerrarle.)

En 1945 Bohr volvió a Copenhague y a su amado Instituto. Los nazis no habían sabido muy bien qué hacer con el principal instituto del mundo especializado en ciencias racialmente inaceptables, con lo cual Bohr encontró las cosas más o menos como las había dejado, entre ellas un bote de solución de ácido áurico por el que sentía gran estima. Según cuenta la historia, cuando Bohr huyó de Dinamarca en 1943 estaba decidido a que su medalla de oro del Premio Nobel no cayera en manos de los nazis. Para impedirlo la disolvió en ácido, y dejó un discreto bote de líquido turbio en una estantería de laboratorio poco conspicua.

Al volver, precipitó el oro y refundió la medalla. Una anécdota de exquisito simbolismo poético, cómo no, demasiado perfecta para ser cierta, pero por muy poco. La medalla de oro del Nobel no era de Bohr en realidad: la suya la había donado al fondo finlandés en compensación por daños de guerra. En realidad pertenecía a su antiguo compañero y colega científico Von Laue, quien se la había mandado a Bohr para que la guardara al comienzo de la época nada dorada de Alemania. (Su medalla no fue lo único que Von Laue estuvo a punto de perder. A diferencia de Heisenberg, Von Laue había hecho pública su opinión sobre los nazis. Lo cierto es que los ganadores del Nobel se convirtieron en una especie amenazada en la Alemania de entonces. En un ataque de ira, Hitler había prohibido aceptar el Nobel a los alemanes porque varios de los ganadores alemanes anteriores, tales como Einstein, Planck, Heisenberg, Hertz, Thomas Mann y otros, eran todos inaceptables para la raza superior.) Después de la guerra Bohr siguió con su trabajo en el Instituto, ahora con el apoyo de su hijo Aage (luego también ganador del Nobel por su ulterior desarrollo del modelo «gota» del núcleo atómico). Tras la muerte de Einstein en 1955, a Bohr le fue impuesta la toga de «mayor científico vivo», pero hizo buen uso de este absurdo organizando una campaña para la puesta en común internacional de los conocimientos sobre la fisión nuclear. En su opinión esto impediría el desarrollo de bombas atómicas aun más destructivas. Curiosa lógica, que por desgracia no convenció a lógicos como Jruschov y Eisenhower.

Niels Bohr murió en 1962 a la edad de setenta y siete años. Qué rareza, un hombre grande y bueno. Como tal fue honrado por su pueblo, y su Instituto fue rebautizado como Instituto Bohr.

Caprichos y quarks del mundo cuántico

• «Si alguien dice que la teoría cuántica está clara, es que no la entiende.» Niels Bohr

• La cuántica es el equivalente científico del cubismo, que contempla un objeto desde varias perspectivas al mismo tiempo. La teoría cuántica y el cubismo se desarrollaron a la vez, pero de forma independiente. Se ha sugerido que al comienzo del siglo XX nuestra evolución dio un «salto» en la manera de ver el mundo.

• Un quark es una partícula cualquiera de un grupo determinado de partículas elementales. La cromodinámica cuántica sugiere que puede haber hasta dieciocho tipos diferentes de quark. Entre estos tipos (conocidos como sabores) se encuentran los siguientes: arriba, abajo, extraño, encantado, fondo (o belleza) y cima (o verdad). El término quark fue acuñado por el físico norteamericano Murray Gell-Mann a partir de una palabra inventada por James Joyce en su incomprensible obra maestra *Finnegan's Wake,* obra que un crítico describió como «un salto cuántico hacia la oscuridad».

• «El multiculturalismo es un concepto cuántico.» *New Scientist*

• Definición de enciclopedia: «El pluralismo es la creencia en la coexistencia de concepciones incompatibles […] gradualmente ha ido calando en todos los aspectos de la cultura, sociedad, e incluso del conocimiento del siglo XX …»

• Einstein mostró que, en útlimo término, el Universo no se compone de materia. Las partículas menores son energía. Vistos así, todos los objetos físicos se convierten en espacio cargado de fuerza.

• «En esencia, la cuántica es ciencia más allá de los sentidos. No podemos tener una *imagen* de la realidad última.» Werner Heisenberg

• «Estoy tan seguro como se puede estar de algo que nunca se podrá conocer de que la realidad es más extraña de lo que nunca podremos llegar a concebir.» Bryan Magee, filósofo contemporáneo

• «Profunda aversión hacia el reposo definitivo en una u otra visión totalizadora del mundo. Fascinación por el punto de vista opuesto: negativa a privarla del estímulo de lo enigmático.» La prescripción de Nietzsche para el futuro de la ciencia en 1886. También dijo: «Las intuiciones más valiosas son los *métodos*».

• «La segunda ley de la termodinámica postula que nunca podrá haber otro Humpty Dumpty. La física cuántica ha hecho que una "teoría del todo" sea tan plausible como Papá Noel.» John Mandeville, físico

• Unas palabras de advertencia para aquellos que buscan una explicación última del mundo en términos de conocimiento: «No quieras hacer del intelecto nuestro dios; tiene […] poderosos músculos, pero ninguna personalidad.» Albert Einstein

• Un desarrollo tardío de la física cuántica (versión simplificada): imaginemos dos partículas subatómicas. En determinado momento esta pareja forma un sistema en el que el valor de una equilibra el valor de la otra (digamos: A\, B/). Luego estas partículas quedan separadas por una distancia enorme (digamos medio Universo). Entonces medimos A y comprobamos que tiene valor \. Por tanto concluimos que B debe tener valor /. Hasta aquí, muy simple.

Pero según la teoría cuántica, A *no tiene valor hasta que se mida*, y dicho valor depende del método de medida empleado. Esto supone que cuando se mide A y se halla que es \, B, por haber sido parte una vez del mismo sistema, debe asumir el valor /. Tendría que haber tomado este valor *de manera instantánea*.

Por tanto, si la teoría cuántica es cierta, hay algo que viaja más deprisa que la luz. Pero, como sabemos, según la teoría de la relatividad de Einstein no hay nada capaz de hacer eso. Asimismo, este «ordenamiento» (o equilibramiento de B a través de una gran distancia) tendría lugar sin causa aparente. Estaría más allá del ámbito de la causalidad.

Este fenómeno se conoce como la paradoja EPR (Einstein-Podolsky-Rosen).

• Hubo un desarrollo ulterior de la paradoja EPR con la llegada del teorema de la desigualdad de Bell. Este explicaba la paradoja EPR suponiendo una «realidad no local» (es decir, un mundo real que existe en ninguna parte). El mundo real que *conocemos* se apoya en esta realidad invisible que está más allá del tiempo, el espacio o la causalidad. Según Bell, todas las partículas que alguna vez hayan sido parte de un sistema permanecerán siempre ligadas por esta realidad no local, a la que no le afecta la distancia (por grande que sea) que actúa de manera instantánea (es decir, más rápido que la velocidad de la luz) y en la que hay lazos que no pasan por el espacio.

No es la primera vez que se ha hablado de un método tal de comunicación. La transferencia de pensamiento por percepción extrasensorial funciona así. También el vudú. Cuando se clava una aguja en el muñeco que representa a alguien que está a kilómetros de distancia, este inmediatamente sufre un dolor penetrante en la parte correspondiente de su cuerpo.

Sin embargo […] ¡al teorema de la desigualdad de Bell se le llama ciencia!

Vida y tiempo de Niels Bohr

1885	Nace Niels Bohr en Copenhague.
1900	Max Planck formula por primera vez la teoría cuántica.
1903	Bohr entra en la Universidad de Copenhague para estudiar física.
1905	El *annus mirabilis* de Einstein, en el que propone su teoría especial de la relatividad y confirma la teoría cuántica de Planck.
1911	Bohr completa su tesis sobre la teoría electrónica de los metales, y va a estudiar a Cambridge con J. J. Thomson.
1912	Bohr se traslada a Manchester para estudiar con Rutherford en marzo. Se casa con Margarethe Norlund en agosto.
1913	Bohr publica su teoría de la estructura atómica.
1914-1916	Bohr está en la Universidad de Manchester.
1916	Bohr es nombrado catedrático de física teórica en la Universidad de Copenhague. Einstein publica su teoría general de la relatividad.
1921	Se inaugura el Instituto de física teórica, con Bohr como director.
1922	Descubrimiento del hafnio. Bohr recibe el Premio Nobel de Física.
1924	Pauli desarrolla su principio de exclusión.
1925	Heisenberg propone la física de matrices. Schrödinger replica con la mecánica de ondas.
1927	Heisenberg postula su principio de indeterminación. Bohr propone el principio de complementariedad.
1936	Bohr concibe el modelo «gota» del núcleo para explicar la fisión nuclear.
1941	Heisenberg visita a Bohr en el Copenhague ocupado y le entrega un diagrama de un reactor nuclear alemán.
1943	Bohr escapa de la Dinamarca ocupada.
1943-1945	Bohr trabaja en el Proyecto Manhattan para hacer la primera bomba atómica.

1945	Se arroja la primera bomba atómica sobre Hiroshima. Bohr regresa a Dinamarca. Inicia una campaña en favor de la cooperación internacional en materia de fisión nuclear.
1962	Bohr muere en Copenhague.

Otras lecturas recomendadas

Ruth Moore, *Niels Bohr* (Hodder, 1967 *et seq*). La típica biografía con una buena mezcla de vida y ciencia accesible.

Abraham Pais, *Niels Bohr's Times* (Clarendon, 1991 *et seq*). Un estudio biográfico reciente: completo tanto para la vida como para la obra, sin llegar a ser la última palabra.

Niels Bohr, *Física atómica y conocimiento humano* (Madrid, Aguilar, 1964). Una introducción al asunto, de la fuente original.

Arkady Plotnisky, *Complementarity* (Duke University Press, 1994). Los últimos avances: la nueva metafísica científica que deja muy atrás al sentido común.

HAWKING

Y LOS AGUJEROS NEGROS

EN 90 MINUTOS

PAUL STRATHERN

SIGLO XXI ESPAÑA

Siglo XXI de España / En 90 minutos

Paul Strathern

Hawking y los agujeros negros

en 90 minutos

Traducción: Pedro Tena

Hawking es tal vez uno de los científicos más populares de nuestra época. Sus investigaciones cosmológicas y sus descubrimientos sobre los agujeros negros han abierto posibilidades infinitas y han cambiado nuestra manera de mirar el mundo y el cosmos. Aun así, ¿cuántos de nosotros entendemos realmente lo que significan los agujeros negros?
Hawking y los agujeros negros es una brillante instantánea de la vida de Hawking y de su trabajo, y proporciona una explicación accesible y clara del significado y de la importancia de sus descubrimientos y del modo en que estos repercuten en nuestras vidas.

«90 minutos» es una colección compuesta por breves e iluminadoras introducciones a los más destacados filósofos, científicos y pensadores de todos los tiempos. De lectura amena y accesible, permiten a cualquier lector interesado adentrarse tanto en el pensamiento y los descubrimientos de cada figura analizada como en su influencia posterior en el curso de la historia.

Diseño de portada
RAG

Motivo de cubierta:
Carlos Latuff

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes sin la preceptiva autorización reproduzcan, plagien, distribuyan o comuniquen públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo de soporte.

Nota a la edición digital:

Es posible que, por la propia naturaleza de la red, algunos de los vínculos a páginas web contenidos en el libro ya no sean accesibles en el momento de su consulta. No obstante, se mantienen las referencias por fidelidad a la edición original.

Título original
The Big Idea: Hawking and Black Holes

© Paul Strathern, 1997

© Siglo XXI de España Editores, S. A., 1999, 2014
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.sigloxxieditores.com

ISBN: 978-84-323-1706-4

Introducción

El parecido entre Stephen Hawking y el Dr. Strangelove, el extraño personaje de la película de Kubrick, es algo más que una mera y pasajera comparación. Desde luego, Hawking no es un nazi con ansias de revancha, pero todos los que han trabajado con él hablan del mismo grado de intensidad en la energía intelectual contenida. El Dr. Strangelove era una parodia de la voluntad desnuda, aunque de una gran complejidad y clarividencia, y enormemente cerebral. Al mismo tiempo que decididamente humano, estaba poseído por fuertes pasiones y fobias, que sus taras físicas no contribuían a remediar. Hawking ha insistido a menudo en que se le viera como a cualquier otro ser humano normal, algo que después han confirmado sus actos. En la película nunca llegamos a ver el despacho del Dr. Strangelove, pero de haberlo necesitado, el despacho de Hawking en Cambridge habría sido una inmejorable elección. Allí se respira una silenciosa atmósfera de concentración, rota tan solo por el sonido del un interruptor que una figura encorvada acciona desde su silla de ruedas; a su alrededor, las pantallas de los ordenadores, un espejo desde el que un rostro atento devuelve la mirada al observador, y grandes pósteres de Marilyn Monroe mirándonos desde lo alto de las paredes.

Esa mente, alejada del mundo, que se encuentra como en casa cuando navega por los confines últimos del universo, ha producido algunos de los más asombrosos pensamientos cosmológicos de todos los tiempos. Nuestra imagen del cosmos se ha transformado por completo durante la era Hawking. La imagen que él y su equipo han creado es tan imaginativa y bella como una gran obra de arte y, al mismo tiempo, tan imposible como un sueño, y enormemente más compleja de lo que puede comprenderse habitualmente. Hawking ha producido ideas nuevas y sensacionales sobre los agujeros negros, la «Teoría de la Gran Unificación» y el origen del universo.

Sin embargo, hay quienes han cuestionado todo esto. La cosmología es el estudio del universo, pero pese a contar con sus diabólicas matemáticas, gran parte de la disciplina no puede probarse. ¿Puede la cosmología ser de algún modo útil o relevante, o es como un cuento de hadas, tan importante para nuestras vidas como las leyendas de los antiguos dioses griegos? Igualmente puede considerarse que los logros de Hawking son fundamentales para nuestra comprensión de la propia vida, o que se trata de una vasta empresa intelectual llena de ruido y furia pero vacía de significado. Continúen leyendo y juzguen por ustedes mismos.

Vida y obra: una breve historia de Hawking

Stephen Hawking nació durante los sombríos días de la Segunda Guerra Mundial. Sus padres tenían una casa en Highgate, en el norte de Londres. Por la noche, el clamor de las sirenas que anunciaban los bombardeos, los focos de luz en busca de señales en el cielo, el resplandor y el estallido sordo de las bombas alemanas, desgarraban el silencio.

Para asegurar el nacimiento de su primer hijo, Frank e Isobel Hawking decidieron, poco antes de dar a luz, trasladarse temporalmente a Oxford. Los alemanes habían aceptado no bombardear Oxford y Cambridge para no dañar su irreemplazable arquitectura a cambio de que los aliados no hicieran lo propio con las históricas ciudades universitarias de Heidelberg y Gotinga. Como señalaba Isobel Hawking: «es una lástima que este tipo de acuerdo civilizado no se extendiera a otros campos». El 8 de enero de 1942 dio felizmente a luz un hijo varón, una fecha que casualmente coincide con el aniversario de Galileo, muerto en 1642, exactamente 300 años antes. Además, Newton había nacido casi al mismo tiempo el mismo año, por lo que, si omitimos el hecho de que son dos campos que se excluyen mutuamente, podríamos decir que los auspicios astrológicos para un astrónomo eran realmente excelentes.

Tanto Frank como Isobel Hawking habían estudiado en la Universidad de Oxford. Frank era ya un médico dedicado a la investigación, que estaba casi siempre de viaje. Por otro lado, la carrera de Isobel, en declive por falta de oportunidades, había comenzado con un aburrido puesto de inspectora fiscal para ir progresivamente descendiendo por diversos trabajos de secretaria nada satisfactorios. (En realidad, había llegado demasiado pronto, pues, solo unos años más tarde, Maggie Thatcher se haría cargo del comité conservador de la Universidad de Oxford. Durante la guerra, las mujeres ya habían entrado en los ministerios, consiguiendo puestos elevados en el escalafón funcionarial, habían escapado de la servidumbre doméstica para buscar empleo como braceras en las granjas, o habían probado el sabor de la independencia trabajando en las fábricas y ocupando puestos tradicionalmente «masculinos».)

Precisamente, cuando trabajaba de secretaria, Isobel conoció a Frank Hawking, que acababa de regresar de una investigación médica en África. No tardaron en casarse, y tuvieron cuatro hijos. La actitud ante la vida de Isobel, que apenas cambió de forma de ser, marcó la educación de sus hijos. Pese a ello, sus deseos no colmados encontraron un camino en el idealismo. Se enroló en las filas del comunismo y, aunque muy pronto flexibilizó su postura política, siguió siendo una socialista convencida. Más tarde, tomaría parte en las primeras marchas del CND, el comité para el desarme nuclear, desde Aldermaston hasta Londres, cuando intentar salvar a la especie humana de la destrucción nuclear se consideraba una actividad antisocial.

En 1950 los Hawking se trasladaron a vivir a St. Albans, 50 kilómetros al norte de Londres, una agradable ciudad catedralicia (o sofocantemente provincial). Frank había sido nombrado allí jefe del Departamento de Parasitología del Instituto Nacional de Investigación Médica. Los Hawking continuaron haciendo una vida intelectual

perfectamente ortodoxa, lo que no impidió que se les etiquetase de inmediato como peligrosos excéntricos. Su casa estaba atestada de libros, los muebles pretendían ser cómodos y no símbolo de estatus social, las cortinas no se lavaban y, a veces, ni siquiera se corrían por la noche. Había quien podía asegurar incluso que la familia escuchaba en la radio el *Tercer Programa* (dedicado a la música clásica y al teatro, y dirigido especialmente a los pocos disidentes que vivían entre el filisteísmo burgués). En su tiempo libre, Frank llegó incluso a escribir varias novelas que nunca se publicaron, y de las que su esposa se burlaba llamándolas despropósitos. Los modelos para el joven Stephen fueron siempre más bien los Bertrand Russell y Gandhi que los Stanley Matthews o Max Miller.

Al llegar el verano, toda la familia se apretujaba en el automóvil, un antiguo taxi londinense, y se trasladaban a su caravana para pasar las vacaciones. La caravana, que era de su propiedad, estaba aparcada en un campo de Osmington, en Dorset, cerca de la bahía de Ringstead. No hace falta decir que no se trataba de una caravana corriente, sino de una vieja caravana gitana, pintada con alegres colores «romanís». Los Hawking no eran una familia acomodada, pero no eran pobres; tampoco parece que fueran más ni menos felices que cualquier otra familia de clase media durante esta época triste y gris de represión social.

De un hogar corriente como este salió un típico estudiante de la época. A los diez años, a Stephen se le matriculó en el mejor colegio de la zona: el mediocre St. Albans, cuya matrícula costaba 50 guineas por trimestre. Si tenemos en cuenta que una guinea equivale a 1,60 €, más o menos, podremos hacernos una idea de las pretensiones que dicha escuela tenía de aspirar al nivel «Basil Fawlty»1. Stephen era un estudiante debilucho, desmañado y de movimientos descoordinados, un tipo de personaje fácilmente reconocible que encajaba entre los habituales matones, chulos, fanfarrones, malas hierbas, quejicas y toda esa clase de seres particulares que suelen poblar cualquier patio escolar.

Para entonces, Stephen ya se había interesado por la química, e incluso tenía su propio laboratorio en el cobertizo de su casa, que no tardó en convertirse en un lugar desordenado, lleno de tubos de ensayo, residuos de viejos experimentos y manuales para la fabricación casera de pólvora, cianuro o gas mostaza.

Poco a poco iba haciéndose evidente que Stephen era un alumno bastante brillante, pero al que no le constreñían las ostentosas exigencias que trataban de imponerle en aquel colegio fino. No trabajaba demasiado, pero aprobaba con nota todas las asignaturas, aunque nunca era de los primeros. Su mente era aguda, pero hablaba con demasiada rapidez para que se le entendiese bien. En su casa, en el cobertizo, con sus pocos amigos del colegio, se dedicó a inventar complicados juegos de mesa, que para jugar requerían al menos cinco horas y que, en ocasiones, podían llegar a durar hasta una semana entera de vacaciones. No es extraño que pronto se encontrara jugando contra sí mismo. Tanto a los amigos como a la familia les sorprendía su capacidad para dejarse absorber por problemas tan abstrusos, cuya solución a menudo llegaba después de interminables horas. En opinión de su madre: «Me imagino que, por entonces, para él el

juego era casi un sustituto de la vida».

Stephen parecía disfrutar viviendo en un mundo teórico ordenado, intentando retar a su estructura hasta sus últimos límites. Puede que no pareciera infeliz, pero ciertamente no era alguien corriente. El funcionamiento de su mente era inusitadamente abstracto, y parecía que le guiaban inclinaciones superiores a las naturales.

El ganador de todos los premios de su promoción, su compañero Michael, le definía de un modo cordialmente condescendiente, como «un brillante y simpático maniático de la ciencia». Un día, empezaron a hablar en el laboratorio de Stephen de «filosofía y vida». Michael recuerda que a él se le daba bastante bien la filosofía, pero a medida que se adentraban en la conversación, se fue dando cuenta de que Stephen lo estaba dejando en ridículo, incitándole sutilmente a que dejase ver su ignorancia. Fue un momento desconcertante para Michael que, de repente, sintió como si un observador distanciado le mirase burlonamente desde una gran altura. «En aquel momento me di cuenta por primera vez de que, de algún modo, Stephen era diferente y no solo brillante, no solamente listo ni original, sino excepcional.» También percibió «una arrogancia, un sentido global de cómo funcionaba el mundo». Naturalmente, el brillante y distraído cerebro de Stephen se había pasado algún tiempo reflexionando sobre las cosas, intentando figurarse cómo funcionaba el mundo.

La cosmología había sido la tarea que la filosofía se había impuesto en sus orígenes. La palabra griega para nombrar el universo era *cosmos*, que también significaba «orden», y cuya etimología ha guardado el sustantivo cosmética. Para los griegos antiguos el orden del mundo era una cuestión de belleza. Actualmente, la cosmología se ha desembarazado de sus tintes filosóficos, y se limita al estudio de la estructura del universo, pero el descubrimiento de un orden en esta vastedad infinita puede aún evocar un sentido de belleza y asombro filosófico. Esto puede ocurrir especialmente en la mente de un reflexivo estudiante de secundaria, dotado de una extraordinaria percepción, atraído por la abstracción y capaz de una concentración extrema en su empeño por pensar hasta la raíz última de las cosas.

Los escondidos talentos de Hawking necesitaban un impulso para poder emerger a la luz del día. Esto ocurrió cuando tenía dieciséis años y estudiaba para los *A-levels*[2]. En 1958, el padre de Stephen obtuvo un puesto de investigador en la India. La familia decidió convertirlo en una aventura y viajaron en automóvil, lo que en aquellos tiempos constituía todo un atrevimiento. Pero la decepción llegó cuando se supo que en aquella aventura no podría unirse toda la familia: Stephen debía pasar sus exámenes y se quedaría al cuidado de la vecina y agradable familia Humphrey.

La actitud de la señora Hawking al respecto era perfectamente británica. «Él se lo pasó en grande con los Humphrey, y nosotros lo pasamos muy bien en la India.» Y en efecto, eso parecía. Sin embargo, hubo un incremento notable en la torpeza de Stephen. En una ocasión digna de un número cómico, los Humphrey perdieron un carrito lleno de su mejor vajilla de loza. La señora Humphrey recuerda: «Supongo que todos se echaron a reír, pero después de un rato quien más se rio fue Stephen».

Al margen de otras posibles consecuencias, el hecho de ser abandonado por su familia

fue suficiente para estimular el interés de Hawking por la vida. Su padre habría deseado que él estudiase biología con el objetivo de continuar después su labor en la profesión médica, pero a Stephen le interesaban más las matemáticas, materia que dominaba mejor. Su padre consideraba que eran un camino estéril, que solo servían para la enseñanza. Finalmente llegaron a un acuerdo: Stephen estudiaría matemáticas, física y química. Se consagró en cuerpo y alma a sus estudios *A-level,* y también probó suerte en un examen de ingreso en Oxford, con la intención de prepararse mejor para el año siguiente. Contra todo pronóstico, Stephen lo hizo tan bien en los exámenes de Oxford que le concedieron una beca al instante.

Con diciesiete años Stephen Hawking llegaba a la Universidad de Oxford para estudiar ciencias naturales en la especialidad de física. La ausencia de matemáticas no suponía que respetase hasta ese punto el trato con su padre, sino que, por el contrario, Hawking consideraba ya entonces que eran solo la llave para la comprensión del universo en su conjunto. El cosmos seguía constituyendo el núcleo de su interés más profundo.

Muchos de sus otros compañeros de estudios del primer curso eran aproximadamente un año y medio mayores que Stephen, que por entonces tenía diecisiete, y el resto le sacaba al menos tres años, pues habían pasado dos cumpliendo su servicio militar. Joven, con gafas, desmañado y de complexión endeble, Stephen se sentía al margen de las cosas y de los demás. Pasó la mayor parte de su primer año sin salir de su cuarto, sin trabajar, tan solo aburriéndose y preguntándose cómo podría conseguir la aceptación de los demás. Como era demasiado joven para ir a los pubs, por las noches se bebía él solo unas cuantas cervezas en su habitación mientras devoraba libros de ciencia ficción. Esta actividad le abrió las puertas de nuevas perspectivas del universo, tan imaginativas como, casi siempre, estrafalarias o desvirtuadas, pero no estimuló apenas sus intereses académicos. Si tenía suerte, conseguía concentrarse poco más de una hora al día.

El interés de Hawking se centraba en la amplitud del mundo que le rodeaba, y esto sí que lo estudiaba a conciencia, a menudo realizando incursiones nocturnas en él. No dejaba de observar sus propiedades singulares, el curioso modo en que se manifestaba y sus excitantes posibilidades. En el comienzo de su segundo año, Hawking estaba preparado para entrar en este mundo. Se dejó el pelo muy largo, especialmente para aquellos años cincuenta, acentuó su fino sentido del humor, y mejoró su aspecto externo. El patito feo floreció, saltando de fiesta en fiesta, dejándose llevar por la corriente social con la facilidad y confianza de un perfecto y bien ensayado profesional del espejo. Incluso llegó a unirse a los robustos miembros del club de remo, haciéndose timonel de una embarcación de ocho universitarios como él.

Cuando Hawking se ponía a hacer algo, lo hacía con el máximo empeño. Una vez más parecía haber aplicado aquella «arrogancia… un sentido global de cómo funcionaba el mundo», que tanto había impresionado a su compañero de estudios Michael, cuando percibió algo excepcional en su carácter. Pero esta temible cualidad no era tanto su «arrogancia» como la confianza en sí mismo sustentada por una voluntad bien centrada.

No obstante, su voluntad seguía persiguiendo un objetivo pequeño. Hawking no se sentía agobiado por sus obligaciones, y no dedicaba al trabajo más de una hora al día.

Pese a ello, su tutor de física, el doctor Robert Berman, recuerda que: «Era sin duda el mejor estudiante que he tenido nunca»; y añadía: «No soy tan presumido como para pensar que alguna vez pude haberle enseñado algo». Estos comentarios lisonjeros tienen el sello distintivo de haber sido realizados con el transcurso de los años, sin embargo, no hay duda de que a Hawking se le consideraba excepcional, aunque solo fuera porque parecía desafiar el principio de la conservación de energía: la cantidad de energía que se obtiene de una actividad no puede exceder la cantidad de trabajo que se invierte en ella.

Hawking era muy presuntuoso, tanto social como intelectualmente. No veía ningún interés en tratar de disimular sus excepcionales talentos; una arrogancia que por lo demás no hacía sino aumentar su reconocimiento público. A pesar de lo poco que trabajaba, decidió que proseguiría sus estudios con una investigación de posgrado en cosmología. Así que pidió a la Universidad de Cambridge que le dejaran trabajar con Hoyle, el gran cosmólogo del momento, y fue aceptado a condición de que obtuviese un sobresaliente. Ningún problema.

Solo en el último momento le falló la confianza en sí mismo. La víspera de sus exámenes finales se pasó la noche en blanco y se equivocó en algunas respuestas. Sus notas finales estaban en el límite entre el sobresaliente y el notable. Como solía ocurrir en estos casos, se le llamó para hacer una entrevista que decidiera su destino. Para este momento, había recuperado su característica autoestima. Cuando se le preguntó sobre sus proyectos, contestó: «Si consigo un sobresaliente, iré a Cambridge; si me dan un notable, seguiré en Oxford, así que confío en que me den un sobresaliente». De acuerdo con el doctor Berman: «Fueron suficientemente inteligentes como para darse cuenta de que hablaban con alguien bastante más listo que la mayoría de ellos». Hawking consiguió el sobresaliente, y en el otoño de 1962, con veinte años, llegó al Trinity Hall en Cambridge.

Si su llegada a Oxford había sido bastante mala, su llegada a Cambridge no fue mucho mejor. Para empezar, se encontró con que Hoyle había decidido no incluirle en su equipo, designando en su lugar a su ayudante como su supervisor: un duro golpe para el orgullo de Hawking y un desprecio que no olvidaría. Entre los posgraduados de Cambridge, Hawking ya no era un estudiante estrella. Cambridge tenía una pléyade de auténticas primeras figuras y algunos de los mayores descubrimientos científicos tenían lugar allí: Crick y Watson habían descubierto la estructura del ADN en el Laboratorio Cavendish de Cambridge, por lo que les fue otorgado el premio Nobel pocas semanas después de la llegada de Hawking; al mismo tiempo, a Kendrew y Perutz, también del Cavendish, y aún durante su estancia, les fue concedido el Nobel de Química. Incluso dentro del pequeño mundo del Departamento de Matemática Aplicada y Física Teórica (DMAFT), Hawking aprendió enseguida que las cosas no iban a resultar fáciles. Una única hora de estudio al día había dejado poco tiempo para el trabajo de fondo, y enseguida se hizo evidente su carencia de una sólida base matemática. Pero esto era tan solo la punta del iceberg, porque, durante su último año en Oxford, Hawking había sufrido una momentánea pérdida de memoria como consecuencia de un golpe en la cabeza tras una caída por las escaleras. Sus amigos habían creído que se trataba de una

de sus correrías nocturnas, pero no había sido esta la única vez que había rodado escaleras abajo, y en una ocasión le había costado hasta atarse los cordones de los zapatos. Hawking aprendió que debía tener cuidado con las escaleras, pero los síntomas persistieron.

Cuando regresó a casa al terminar su primer trimestre en Cambridge, su padre decidió enviarle al hospital a hacerse una revisión médica. El resultado fue peor que la peor de las pesadillas. Se le diagnosticó una enfermedad llamada ELA (esclerosis lateral amiotrófica), más conocida como enfermedad de las neuronas motoras.

La ELA es una enfermedad degenerativa progresiva de las células nerviosas de la espina dorsal y del cerebro. Estas células controlan la actividad muscular por lo que, a medida que avanza la enfermedad, los músculos se van atrofiando, causando la inmovilidad e incluso la pérdida total del habla. El cuerpo queda reducido a un estado vegetativo, pero la mente permanece en todo momento despierta y funcionando perfectamente. La comunicación resulta imposible, y la muerte ocurre en unos pocos años. En los últimos estadios de la enfermedad, al paciente se le trata con morfina para contrarrestar los efectos de la depresión crónica y el terror.

La reacción de Hawking fue típica de su educación y de su carácter. «Tomar conciencia de que tenía una enfermedad incurable que me iba a matar en unos pocos años me asustó un poco: ¿cómo iba a sucederme algo así a mí?» La reacción de su madre no fue tan comedida. Exigió ver al mejor especialista del Hospital Clínico de Londres, pero este dejó bien clara su opinión: «No hay nada que pueda hacer yo realmente. Más o menos, eso es lo que hay».

A pesar de las valientes palabras de Hawking, en realidad estaba profundamente afectado. Justo antes de su estancia en el hospital, había conocido a una mujer en una fiesta de fin de año que había quedado impresionada por la obstinación de aquel intelectual zarrapastroso. Cuando ella volvió a verlo más tarde, «se encontraba en un estado patético. Creo que había perdido la voluntad de vivir». Hawking volvió a Cambridge y se hundió en un estado de depresión morbosa. Durante varios meses apenas salió de su cuarto. Todo lo que se oía en su habitación era el estrépito de los discos de Wagner y de las botellas de vodka vacías.

Paulatinamente empezaron a disiparse los nubarrones de una autocompasión trágica. La chica que había conocido en Nochevieja fue a visitarle a Cambridge. Tenía nada más que dieciocho años y se llamaba Jane Wilde. Estudiaba para sus *A-levels* en el colegio de St. Albans, y planeaba ir a la Universidad de Londres el año siguiente.

Jane era tímida. La primera vez que Hawking le contó que estudiaba cosmología, tuvo que ir a buscar el término en el diccionario. Los genios no explican esas cosas. Jane creía en Dios y era optimista por naturaleza. Todo tenía un sentido; y no importaba lo mal que parecieran ir las cosas, porque siempre podía extraerse algo bueno de ellas. Hacía ya tiempo que Hawking había renunciado a cualquier tipo de creencia en Dios, pero la actitud de Jane pulsó algún tipo de cuerda en él. Tenía una voluntad férrea, siempre había tenido una voluntad férrea, este había sido su secreto. ¿Por qué iba a cambiar ahora?

«Antes de que me diagnosticaran la enfermedad, la vida me aburría mucho», recuerda. «No parecía que hubiera nada que me interesase.» Pero ahora las cosas eran diferentes: «soñé que iba a ser ejecutado», recuerda. «De pronto, me di cuenta de que había un montón de cosas que podría hacer, si me suspendían temporalmente la pena.» Estaba en proceso de curación, al menos por lo que respecta a su salud mental, porque su aspecto físico no era tan saludable.

La ELA no avanza de un modo regular. Tras una agudización de los síntomas suele venir un proceso de compensación, una estabilización que puede durar un tiempo sorprendente. Los doctores habían informado a Hawking de que su enfermedad había entrado en uno de esos «periodos mesetarios», pero su diagnóstico resultó equivocado. La enfermedad continuaba progresando, y pocos meses después Hawking tenía que apoyarse en un bastón para poder caminar. Los doctores le dieron menos de dos meses de vida. Comenzar su tesis no tenía ningún sentido si iba a morir antes de poder completarla.

Hawking seguía viéndose con Jane, pero cualquier atisbo de sentimentalismo era inmediatamente expulsado de su relación. Detestaba la piedad y estaba decidido a seguir siendo independiente mientras fuese posible. Se sentía como un ser humano normal y deseaba ser tratado como tal. Consideraba a Jane una «chica muy agradable», y ella admiraba en secreto su coraje. Era su mutua admiración, más que los sentimientos, lo que les hizo entender que lo imposible podría ser posible. En palabras de Jane, ambos se dieron cuenta de que si continuaban juntos «podrían hacer algo que valiera la pena con sus vidas».

Finalmente, llegaron a un compromiso formal. Para Hawking, este hecho «marcó la diferencia». Ahora tenía algo por lo que vivir. Pero si iba a casarse, necesitaría un trabajo. Y para conseguir un trabajo tendría que hacer una tesis doctoral.

Hawking recuperó la confianza en sí mismo y empezó a pensar en el tema adecuado para su tesis doctoral. Se consideraba a sí mismo afortunado. La cosmología no requería más aparato que los telescopios, y no suponía realizar experimentos que requiriesen destreza física o manual. La única cosa que necesitaba de verdad era su cerebro, una de las pocas partes de su cuerpo que había de permanecer incólume.

En 1965, con veintitrés años, Hawking empezó su tesis doctoral, y en julio se casó con Jane. Aquel otoño, Jane se marchó a Londres a estudiar su último año de universidad, pero regresaba a Cambridge los fines de semana. Hawking se trasladó a una pequeña buhardilla a unos 100 metros del Departamento de Matemática Aplicada y Física Teórica, y gastó parte del dinero de la boda en comprar un coche asistido para poder conducir hasta el observatorio situado a las afueras de la ciudad.

La formidable voluntad de Hawking había encontrado una motivación; su mente estaba concentrada al máximo, sin apenas distracción. Y eso era lo que necesitaba, pues los problemas a los que iba a enfrentarse estaban entre los más complejos y ambiciosos de toda la cosmología.

Durante algunos años, la cosmología había sido considerada como una pseudociencia y, como tal, había atraído la atención de un buen número de pseudocientíficos. Las

grandes ideas sobre el universo, respaldadas por números increíblemente grandes, habían tenido éxito entre el gran público. Estas ideas eran los dinosaurios de la ciencia moderna: gigantes, simplistas y abocadas a la extinción. Escaseaban las preguntas incisivas. Los auténticos científicos preferían la ciencia auténtica, susceptible de prueba o refutación mediante un experimento. Al público embelesado no se le pedía otra cosa que abrir la boca en señal de admiración ante las últimas noticias sobre el universo, pero ningún tipo de objeciones.

A principios de los años sesenta, todo esto había empezado a cambiar. Los grandes descubrimientos de principios de los años veinte, la relatividad y la teoría de la mecánica cuántica, habían transformado nuestra visión del mundo subatómico. La relatividad significaba que el espacio era curvo y que el universo tenía fronteras, pero hasta ese momento ni la relatividad ni la teoría cuántica se habían aplicado rigurosamente a los principios sustanciales del universo, tanto a escala subatómica como galáctica. ¿Qué efecto tuvieron estas ideas en el vasto y continuo experimento que *construía* el universo? Las respuestas fueron –y continúan siéndolo– más increíbles de lo que la más increíble e imaginativa historia de ciencia ficción pudiera soñar. ¿Quién podría haber concebido la existencia de agujeros negros, agujeros invisibles en el universo, dentro de los cuales el espacio y el tiempo sencillamente desaparecían?

Hawking había observado que la relatividad no armonizaba con la física en el nivel de la mecánica cuántica, y que era incapaz de explicar los agujeros negros. Su investigación en este campo iba a producir un resultado sensacional.

Por raro que parezca, la existencia de los agujeros negros –aunque no con ese nombre– había sido ya anticipada en fecha tan temprana como 1783. El responsable de este descubrimiento fue un párroco inglés, llamado John Michell, a la sazón uno de los mejores astrónomos de su época, pues, además de los agujeros negros, también había sugerido la naturaleza de las estrellas dobles y había realizado algunas muy perspicaces predicciones de distancias interestelares. Michell sugirió que si una estrella era lo bastante grande y densa, impediría que la luz emanase de su superficie. Sus observaciones del cielo le llevaron a la hipótesis de que el universo contenía un considerable número de estrellas de esa índole, cuya presencia podría detectarse por el efecto gravitatorio que ejercían sobre las estrellas o planetas cercanos y visibles.

El astrónomo alemán Karl Schwarzschild recuperó esta idea en los primeros años del siglo XX. Durante una baja por enfermedad del frente ruso, en 1916, empezó a trabajar en las implicaciones de la entonces reciente publicación de la teoría de Einstein sobre la relatividad, quien había formulado que los rayos de luz podrían doblarse por la fuerza de la atracción gravitatoria. (La vida en el frente ruso podía ser tan peligrosa e incómoda como la vida en las trincheras del frente occidental, pero debía de haber algo estimulante en el ambiente, porque al mismo tiempo, a no mucha distancia de allí, el austriaco Ludwig Wittgenstein reflexionaba sobre las ideas que iban a transformar la filosofía del siglo XX.) Schwarzschild demostró que cuando una estrella colapsaba bajo la fuerza de su propia gravedad, ocurrían ciertas cosas. De acuerdo con la teoría de Einstein sobre el efecto de la gravedad sobre la luz, a partir de un cierto grado el efecto de la fuerza de la

gravedad se incrementa hasta el punto de que nada, ni siquiera la luz, es capaz de escapar de su campo gravitatorio. Este punto se alcanza cuando una estrella se colapsa hasta el límite de un radio determinado, que depende de su masa. Este radio es el punto en el que una estrella que se colapsa se convierte en un agujero negro. (En el caso del Sol, cuyo radio actual es de 700.000 kilómetros, se convertiría en un agujero negro si su radio se contrajese hasta una longitud de 3 kilómetros.) Schwarzschild había probado gracias a la ley de la relatividad lo que Michell solo había sospechado.

Curiosamente, Einstein rechazó los hallazgos de Schwarzschild, pese a estar basados en su propia teoría. Sin embargo, el radio crítico en el que una estrella se convierte en un agujero negro es hoy conocido como el radio Schwarzschild.

Un año después, se refutaron una vez más las ideas cosmológicas de Einstein. En esta ocasión, era el astrónomo ruso Aleksandr Friedmann quien, mientras la revolución tenía lugar fuera de su estudio en Petrogrado, descubrió que la imagen de Einstein de un universo estático era incorrecta. Para la realización de sus cálculos, Einstein había supuesto una «constante cosmológica» a la que había llamado *lambda*. Efectivamente, así se evitaba la cuestión de probar si el universo era o no estático; Friedmann demostró que la suposición carecía de justificación. Friedmann dio el valiente paso de asumir que el universo está lleno de una nube de materia uniformemente fina. Los hallazgos modernos han confirmado que esta valiente asunción sigue siendo válida para muchos cálculos macrocósmicos, a pesar de las discrepancias obvias. Trabajando con este modelo, y una versión adecuadamente modificada de los cálculos de Einstein, Friedmann fue capaz de demostrar que el universo de hecho *se expande*. Una vez más, Einstein prefirió disentir de esta teoría.

Las aseveraciones teóricas de Friedmann se confirmaron tras una observación práctica realizada en 1928 por el astrónomo norteamericano Edwin Hubble, cuyo nombre lleva el telescopio espacial. Desconociendo las teorías de Einstein y de Friedmann, mediante un telescopio de 2,5 m, Hubble empezó a estudiar desde el monte Wilson los desplazamientos hacia el rojo de más de una docena de galaxias diferentes. (El desplazamiento hacia el rojo es un corrimiento de líneas en el espectro que indica la velocidad en relación al observador.) Hubble descubrió que la velocidad a la que aquellas galaxias se alejaban era mayor cuanto más alejadas estaban de la Tierra. Esta fue la primera prueba directa de un universo en expansión.

El siguiente gran avance teórico tuvo lugar en Rusia cinco años más tarde. Para entonces las purgas de Stalin estaban en pleno apogeo. Es posible que un científico dedicado a su tarea ignorase la Revolución rusa que ocurría fuera de su laboratorio, pero el Terror de Stalin era un asunto distinto. Hombres vestidos con abultados abrigos de piel llamaban a la puerta y exigían que se les dejase pasar, aunque uno estuviera enfrascado en cálculos cosmológicos. Después de los generales y los jefes de partido, los científicos iban a ser las siguientes estrellas de la lista que llamaran al estrado en juicios públicos. El físico teórico Lev Landau sabía que iba a tener problemas. No solo había estado en el extranjero, sino que también era judío. Landau decidió que su única esperanza era obtener suficiente reconocimiento mundial para que el hecho mismo de ser

llamado al estrado como testigo –y su subsiguiente desaparición– pudiera poner en entredicho la utopía soviética. Improvisó rápidamente un artículo con algunas de las ideas cosmológicas sobre las que había estado reflexionando durante los últimos tiempos y se lo envío a Copenhague a su amigo Niels Bohr, el gran físico, acompañándolo de una carta en la que le pedía un favor: si pensaba que sus averiguaciones valían la pena, tal vez podría usar sus influencias para que se las publicasen en *Nature*, la mejor revista científica internacional. Poco después, Bohr recibió un telegrama del periódico *Izvestia*, órgano del partido oficial, pidiéndole una valoración profesional del artículo de Landau. Bohr no tenía tiempo de analizarlo, pero entendió perfectamente lo que ocurría. Envió un mensaje a Moscú poniendo por las nubes el artículo de su colega, y consiguió que se publicase en *Nature,* lo que no evitó que Landau fuera arrestado en 1938, aunque fuera puesto en libertad poco después, reconociéndose que se había cometido «un error».

Landau había estado especulando durante algunos años sobre cómo las estrellas desprendían la suficiente energía para producir tanto calor. En su artículo de *Nature* postulaba que el centro de la estrella pudiera estar ocupado por una estrella superdensa compuesta en gran parte por partículas subnucleares sin carga, llamadas neutrones. (Una estrella como el Sol contendría otra estrella de neutrones de alrededor de un 1/10 de su masa, pero comprimida en un radio de solo 1 kilómetro.) La descomunal cantidad de calor que desprende la estrella se genera por la absorción de gas de esta estrella interna de neutrones.

El artículo de Landau se había escrito con cierta prisa, y se publicó sin que tuviera tiempo de revisar sus ideas con detenimiento. El as de la física cuántica, el norteamericano Robert Oppenheimer, y su brillante asistente Hartland Snyder, que había trabajado anteriormente como conductor de camiones en Utah, leyeron aquel artículo. Oppenheimer y Snyder juzgaron que había muchas inexactitudes en el artículo de Landau, pero trabajaron sobre su idea original. Según Oppenheimer y Snyder, cuando una gran estrella deja escapar su carburante nuclear y arde, entonces implosiona bajo su propia fuerza gravitatoria. Llega un momento en que se contrae hasta su radio crítico, de donde ni siquiera los rayos de luz pueden escapar de su superficie. En este punto la estrella se aísla del resto del universo y se crea el llamado «horizonte de sucesos de un sentido»: las partículas y la radiación pueden entrar, pero nada puede escapar de ella. Se forma una singularidad espacio-tiempo, según la cual la dimensión espacial y la dimensión temporal asociada sencillamente desaparecen. No hay forma de saber qué ocurría dentro de este horizonte, y Oppenheimer se negaba ni siquiera a especular sobre ello.

Oppenheimer y Snyder publicaron sus investigaciones en *Physical Review,* el 1 de septiembre de 1939, el mismo día que Hitler invadía Polonia, precipitando así la Segunda Guerra Mundial. En el mismo número de *Physical Review,* Niels Bohr y el físico norteamericano John Wheeler publicaban un artículo sobre el modo de obtener la fisión nuclear, es decir, el mecanismo necesario para producir la bomba atómica. Por casualidad, Oppenheimer dirigiría el Proyecto Manhattan, que fabricaría la primera bomba atómica. El mismo día que empezaba la Segunda Guerra Mundial se publicaba el

método que llevaría a esta a su conclusión, junto con un escrito del hombre que lo haría posible. Pero por entonces el artículo de Oppenheimer se desconocía por completo: el mundo tenía cosas más importantes por las que preocuparse que el universo.

Wheeler acabaría trabajando en la bomba atómica, pero cuando acabó de estudiar cómo destruir el planeta Tierra, dirigió su atención al universo.

Por suerte, a la cosmología le preocupaba más la holística que los holocaustos, pero Wheeler consiguió introducir en ella algunos de los problemas sin resolver de su antigua área de investigación. Wheeler era un extremista de derechas, una postura política ortodoxa en la década de los cincuenta, en tiempo de la caza de brujas anticomunista que había emprendido MacCarthy. Por otro lado, Oppenheimer se había acostado una vez con una comunista, lo que significaba que, pese a haber ganado la guerra con la fabricación de la bomba atómica, era desde luego un espía a sueldo del comunismo. Wheeler no estaba de acuerdo tampoco con las ideas cosmológicas de Oppenheimer, pero estaba obligado a reconocer que finalmente tenía cierta razón en su idea de que existía una singularidad espacio-tiempo dentro de un horizonte de sucesos de un sentido. Por supuesto, Wheeler iba a dar un paso más y bautizar a este objeto gravitacionalmente totalmente colapsado con el nombre de «agujero negro». Tal vez inevitablemente, Wheeler no podía estar totalmente de acuerdo con Oppenheimer. Wheeler sostenía que *era* posible describir lo que ocurría dentro de un agujero negro: allí tenía lugar una unión de la relatividad con la física cuántica.

Pero a principios de los años sesenta, muchos aún dudaban de la existencia de los agujeros negros, que hasta 1969 no serían denominados así. Es cierto que las peores sospechas políticas de Wheeler se vieron confirmadas cuando un grupo de científicos soviéticos anunció que habían probado que las singularidades espacio-tiempo (o agujeros negros) sencillamente no podían existir. Según estos científicos soviéticos, tales singularidades espacio-tiempo eran simplemente una conjetura teórica errónea que solo podía tener lugar si se aceptaba que el colapso de las grandes estrellas se producía como una implosión simétrica. Solo de esta forma podía concentrarse el campo gravitatorio en un único punto, resultando en una singularidad espacio-tiempo. Sin esta improbable simetría, no habría singularidad. Abracadabra: no había agujeros negros.

Como puede verse, la cosmología a principios de los años sesenta, cuando Hawking entraba en escena, estaba en pleno estado de ebullición. Ni que decir tiene que la ortodoxia reinante en Cambridge aún estaba a favor de la teoría del estado estacionario que proponía Hoyle. De acuerdo con esta concepción, el universo no había tenido un principio y jamás tendría un final, sino que siempre había existido, es decir, que su densidad media general había permanecido constante o, lo que es igual, en estado estacionario. En los años cincuenta, Hoyle había rechazado con displicencia la idea opuesta, denominándola teoría del *big bang,* describiendo irrisoriamente su idea de la creación como si «de una chica que saliese de la tarta» se tratase.

Sin embargo, la teoría del estado estacionario de Hoyle requería similares trucos de magia. ¿Cómo podría explicarse, si no, la expansión del universo que Hubble había observado? Para remediar esta objeción, Hoyle proponía que las estrellas y las galaxias

surgían del espacio continuamente. Sí, ¿pero cómo? De acuerdo con Hoyle, esta era una de las propiedades del espacio, y para compensar este fenómeno, las estrellas y las galaxias también desaparecían continuamente del espacio, sumergiéndose en un negro y gigantesco más allá.

Hoyle era un incansable y, a menudo, precipitado vocero de su propia teoría del estado estacionario. En una célebre ocasión dio una conferencia en la Royal Society de Londres antes de haber realizado los cálculos que apoyaban sus aseveraciones. Sin el conocimiento de Hoyle, su ayudante había mostrado las cifras preliminares a Hawking, quien había observado en ellas algunas anomalías. Hawking decidió asistir a la conferencia de Hoyle en la Royal Society, que fue recibida con aplausos entusiastas. Cuando Hoyle preguntó al auditorio si alguien tenía alguna duda, un frágil joven con gafas, recién licenciado, se puso trabajosamente en pie con la ayuda de un bastón. Los más de 100 asistentes al acto, adonde habían acudido también destacados científicos, se volvieron para mirar al advenedizo que se atrevía a interrogar a la celebridad.

—La cantidad de la que usted habla diverge –dijo Hawking.

Del auditorio se alzó un murmullo de nerviosismo. Si esto era así, la conferencia de Hoyle era una tontería.

—Por supuesto que no diverge –replicó Hoyle despectivamente.

—Sí lo hace –replicó Hawking.

—¿Cómo lo sabe?

—Porque he encontrado una solución –dijo Hawking tranquilamente.

Algunas risitas se escucharon en el auditorio. Hoyle se había puesto lívido de rabia. ¿Quién era aquel presuntuoso jovenzuelo que se daba tantos aires?

Hawking había proclamado su llegada al escenario de la cosmología con una venganza.

Pero seguía sin despejarse la incógnita de qué ocurría dentro de un agujero negro. Aquellos que habían optado por el colapso no simétrico de las estrellas, al igual que sostenían los científicos soviéticos, habían empezado a elaborar una nueva teoría, según la cual la implosión de la estrella tenía lugar de un modo tan desequilibrado y tan poderoso que sencillamente se sobrepasaba a sí misma y se expandía nuevamente.

Este problema fue estudiado con buenos resultados por un joven matemático inglés llamado Roger Penrose, que aplicó los nuevos métodos matemáticos que había creado para el campo de la topología al problema del colapso de las estrellas, llegando a curiosos resultados. Según su teorema de la singularidad, el colapso de una estrella se produce exactamente como Wheeler había anunciado: se forma una singularidad donde el tiempo cesa y las leyes de la física no rigen; e incluso si la implosión se produce de modo no simétrico, la materia no se sobrepasa a sí misma para expandirse de nuevo. Una gran estrella implosiona hasta su horizonte de sucesos, donde se convierte en un agujero negro (algo que para una estrella 10 veces más grande que el Sol ocurre cuando su radio se comprime hasta los 30 kilómetros). Pero Penrose estableció que, más allá de ese punto, la estrella que colapsaba *seguiría* comprimiéndose, un comportamiento que se producía siguiendo las leyes de la teoría general de la relatividad. A medida que

aumentaba la intensidad del campo gravitatorio, la luz, la materia y el espacio-tiempo serían atraídos dentro de él con cada vez mayor intensidad, e incluso se comprimiría con tal intensidad que alcanzaría un volumen cero y densidad infinita. En otras palabras, desafiaría las leyes de la gravedad hasta el punto de tener masa, pero no dimensión. De igual modo, el espacio-tiempo y la luz no solo serían absorbidos hacia el interior del agujero, sino que se contraerían hasta un punto tan infinitamente pequeño que desaparecerían.

Todo esto ocurriría *dentro* del horizonte de sucesos, y sería, por tanto, inobservable. Pero el horizonte de sucesos no se comprimiría ni colapsaría en absoluto. Permanecería inalterable al llegar al punto en el que la estrella se convierte en un agujero negro. (Por ejemplo, el horizonte de sucesos para una estrella 10 veces más grande que el Sol se mantendría en un radio de 30 km, en tanto que en el interior la estrella misma habría comprimido su tamaño y densidad hasta ser infinitamente pequeños.)

Hawking empezó a estudiar las ideas de Penrose en detalle, y mientras lo hacía, una idea de una originalidad asombrosa iba tomando cuerpo en su mente. Como muchas grandes ideas, esta era esencialmente simple (aunque los cálculos que la sostenían eran todo menos eso). Hawking se preguntó qué ocurriría si, de alguna forma, un agujero negro se volviese del revés. Entonces aplicó esta idea al universo entero. ¿No sería el universo en expansión una gigantesca estrella que implosionaba «al revés»? El tiempo desaparece *en el interior* de un agujero negro: si se invierte este proceso, supondría la creación del tiempo. Lo mismo ocurriría con el espacio. La materia se originaría desde un punto infinitamente denso, aunque sin dimensiones. En este punto se produciría el *big bang,* el mismo acto de la creación, ni más ni menos.

La teoría de la relatividad se aplicaría *en ambos sentidos.* Si el campo gravitatorio se intensificaba, el espacio-tiempo, la materia, la radiación, se concentraban. A medida que el campo gravitatorio se expandía y debilitaba, también el espacio-tiempo se desplegaba, y la radiación y la materia se dilataban. Hawking logró demostrar que en el pasado se produjo una singularidad que dio origen al tiempo. Y si el universo detenía su expansión y comenzaba a contraerse, acabaría por implosionar y *terminar* en una singularidad, el llamado *big crunch.* No quedaban dudas sobre qué habría ocurrido antes de que el universo comenzase, o qué había ocurrido después de terminar, pues bajo estas circunstancias no existía el tiempo, pero tampoco el espacio ni la materia existirían.

Hawking había explicado cómo se había originado el universo. Había mostrado cómo se producía el *big bang,* cómo todo se había creado a partir de la reversión de un agujero negro que lo abarcaba todo. (Pese a ello, los soviéticos continuaban sosteniendo obstinadamente que no existía nada parecido a un agujero negro, y Hoyle continuaba defendiendo su teoría del estado estacionario.) Pronto empezó a correrse la voz de la asombrosa teoría de Hawking, que iba consiguiendo amplia aceptación en todas partes menos en el universo soviético o el de «la Tierra es plana». Hawking se había instalado como una estrella ascendente en el firmamento cosmológico.

Pero la cosmología seguía siendo un pequeño mundo, y la fama de Hawking se redujo a aspectos relacionados con el universo. En el amplio mundo académico de Cambridge,

no era más que un personaje genial pero periférico, uno de tantos, por otro lado. Sin embargo, la leyenda empezaba a extenderse. Los estudiantes recién licenciados del edificio DMAFT se habían acostumbrado a encontrarse con aquel frágil personaje de gafas y bastón, que rechazaba cualquier ofrecimiento de ayuda. Con frecuencia se apoyaba unos minutos junto a la pared, recuperando el resuello, durante la lucha que suponía subir unas escaleras. Ya habían pasado cuatro años desde que le habían concedido un plazo de dos años de vida, y cada vez con mayor frecuencia se veía obligado a recurrir a las muletas, las cuales detestaba, pues no solo le etiquetaban como discapacitado, sino que también le fatigaban aún más.

Con todo, Hawking siguió siendo él mismo, y su cuerpo estaba muy lejos aún de la inutilidad. En 1967 nació su hijo Robert, y pese a las molestias que le causaban las muletas, dedicaba largas horas a su trabajo por el cual sentía verdadera devoción. Resulta irónico que se sintiera ahora más feliz que antes de su enfermedad, al menos eso mantenía.

Pero nada de esto habría sido posible sin el generoso y constante apoyo de su mujer, Jane. La vida con un genio más o menos humano no era fácil. Poseía las emociones extremas que suelen asociarse con este tipo de persona. No eran raras las pataletas y Hawking seguía siendo más que capaz de expresar con fuerza su personalidad. Aunque fuera un genio y estuviera discapacitado, insistía en que se le tratase como un ser humano, algo que era aún posible a pesar de las dificultades. Estaba muy unido a su mujer y su matrimonio estaba estrechamente relacionado con su trabajo. Jane mecanografiaba sus trabajos a partir de las notas que él garabateaba, o tomaba al dictado lo que su cada vez más frágil voz le decía. Su habla empezaba a degenerar en un quejido balbuciente.

Hawking realizaba ahora sus cálculos matemáticos mentalmente, adquiriendo con ello una excepcional destreza cerebral. Cada vez con más frecuencia comunicaba su trabajo intelectual solo cuando lo había desarrollado totalmente. La capacidad en cuanto a memoria, concentración y organización mental que esto requería era formidable, por no hablar de la fuerza de voluntad que implicaba. Y esto era tan solo el trabajo de base, pues requería además el poder creativo y la profundidad para producir un pensamiento original de primer orden, algo que siguió haciendo.

A medida que crecía la fama de Hawking, él fue formando en el centro DMAFT un grupo de investigadores de gran talento, que colaboraban con él en sus investigaciones sobre los agujeros negros. En 1971 Hawking dio a la luz la idea de que después del *big bang* se había formado una serie de «miniagujeros negros». Estos estaban tan concentrados que contenían mil millones de toneladas de materia, sin embargo su tamaño no era mayor que el de un fotón, la partícula elemental de emisión de luz. Hawking demostró que estos miniagujeros negros eran únicos y, que debido a su enorme masa y gravedad, se regían por las leyes de la relatividad, aunque sus dimensiones reducidísimas requerían que también obedecieran a las leyes de la mecánica cuántica. Esto sugería que «en el origen», estas dos explicaciones, con frecuencia en conflicto, pudieran haber sido una sola. Daba una idea de que quizá, en un futuro no demasiado

distante, sería posible desarrollar una teoría global que conjugara tanto la mecánica cuántica como la relatividad, pero por el momento esta posibilidad sensacional no era ni remotamente realizable.

En realidad era más bien lo contrario. Una singularidad producida por un colapso gravitacional significaba la quiebra de todas las leyes conocidas de la física. ¡Asombro, horror, depravación! Pero como este acontecimiento había tenido lugar en un agujero negro, no era observable, sino que por una suerte de «censura cósmica» nos estaba vedada la visión de esa última obscenidad. Sin embargo, si se derrumbaban las leyes de la física, esto significaba que era imposible predecir qué podría ocurrir en el futuro, en cuyo caso la ciencia tenía ante sí una enorme laguna que rellenar.

Filosóficamente, la ciencia tenía ante sí dos posibilidades opuestas, ambas sensacionales, que podían significar «el fin de la ciencia». Los miniagujeros negros indicaban que algún día podría haber una teoría que explicase todo. Al mismo tiempo, los agujeros negros más ortodoxos podían indicar sencillamente que en el universo no podría explicarse nada científicamente. En última instancia, no sería científico. La ciencia había llegado a su último estadio filosófico. *Vivía peligrosamente,* porque lo que tenía ante sí era la doble posibilidad de ser coronada o de estallar: ¡el fin de la ciencia estaba cerca!

Pero, sabiamente, la ciencia tiende a ignorar este tipo de trampas filosóficas. Sin importarles esta defunción inminente, Hawking y los cosmólogos que colaboraban con él continuaron con sus investigaciones. Era imposible ver en el interior de los agujeros negros, pues allí dentro no regían las leyes de la física, pero siempre era posible *conjeturar* qué ocurría dentro de este territorio prohibido. Se había explicado su origen, ahora era cuestión de explicar la continuidad de su existencia.

Al otro lado del Atlántico, Wheeler no solo había bautizado los agujeros negros sino que había llegado a idéntica conjetura, conocida como el «teorema de la no existencia de pelo». De acuerdo con esta teoría, un agujero negro llega a un estado estacionario donde solo cuentan tres parámetros, concretamente, la masa, el movimiento angular y la carga eléctrica. Cuando algo penetra en un agujero negro, solo se conservan estas tres entidades.

En 1974, Hawking y su equipo habían conseguido probar el «teorema de la no existencia de pelo», llamado así por la semejanza entre las coordenadas salientes de las dimensiones y otras adherencias magnéticas que, al entrar en el agujero negro, son afeitadas, sin que este deje traspasar otra cosa que no sean partículas móviles de masa cargadas eléctricamente. Hawking demostró cómo la relatividad podía explicar la hipótesis de Wheeler. Las leyes de la física podían dejar de ser aplicables en el interior de un agujero negro, pero allí dentro no reinaba del todo la anarquía.

Durante el año académico 1974-1975, Hawking aceptó una invitación para pasar un año en Caltech, California, la institución científica más prestigiosa de todo el oeste de los Estados Unidos, donde había trabajado el mejor químico del siglo XX, Linus Pauling, y que reunía a un buen ramillete de premios Nobel. (Entre otros, a lumbreras como el físico Richard Feynman, que además tocaba divinamente los bongos, o Murray Gell-

Mann, que solía bautizar sus descubrimientos con una cita de James Joyce o un texto budista.)

Hawking disfrutó de California, aprovechó la oportunidad de utilizar los potentes telescopios del monte Wilson, y logró evitar que nadie le llevase a Disneylandia, aunque sí que adquirió un gran póster de Marilyn Monroe, el primero de los muchos que adornarían su despacho cuando volviese a Cambridge.

En este momento, la enfermedad de Hawking estaba en otro periodo estacionario, pero entretanto había quedado postrado en una silla de ruedas. Su voz empezaba a deteriorarse y adelgazarse en un quejido apenas inteligible, hasta el punto de que solo sus colegas más cercanos y sus amigos podían entenderle. Desafiando estas temibles trabas, Hawking fue padre por tercera vez en 1979. Tal como uno de sus amigos más leales expresó públicamente años más tarde cuando le presentó en una conferencia: «Tal como prueba el hecho de que su hijo pequeño, Timothy, tiene menos de la mitad de la edad de la enfermedad, es evidente que no todo en Stephen está paralizado». Una cierta turbación recorrió el auditorio tras estas palabras, pero la pequeña figura encogida en la silla de ruedas dejó asomar su famosa sonrisa de oreja a oreja.

A sus treinta y dos años, Hawking había sido nombrado uno de los miembros electos más jóvenes de la Royal Society. Otros premios y honores le seguirían. Para su abnegada esposa Jane, estos reconocimientos eran como «la guinda del pastel». Pero la vida con Hawking no era fácil: «creo que no podré jamás reconciliar dentro de mí los altibajos que hemos experimentado en esta casa: realmente desde el fondo de un agujero negro hasta estos deslumbrantes premios».

Fue entonces cuando Hawking tuvo su famoso momento «eureka», que le puso en el camino de su mayor descubrimiento. Una noche mientras se iba a acostar empezó a pensar en la superficie de los agujeros negros. La obstinación de Hawking en hacerlo todo por su cuenta significaba que irse a la cama representaba para él un proceso largo y laborioso que le permitía pensar durante un largo rato.

Hawking se empezó a preguntar sobre qué les ocurriría a los rayos de luz en el horizonte de sucesos de un agujero negro. Sabía que los rayos de luz que forman el horizonte de sucesos, la superficie de un agujero negro, no pueden jamás aproximarse unos a otros porque están en suspensión. No pueden escapar ni ser absorbidos por el agujero negro. De pronto, se dio cuenta de lo que esto significaba*: el área de la superficie de un agujero negro nunca disminuye*. En otras palabras, incluso si dos de ellos se juntan, nunca se absorberán el uno al otro; por el contrario, su superficie total permanecerá igual o aumentará, pero nunca podrá disminuir. Puede parecer una conclusión algo abstrusa o, tal vez, no particularmente relevante ni emocionante. Sin embargo, sus implicaciones iban a cambiar de arriba abajo la noción de lo que era un agujero negro.

A Hawking, que lo había intuido, le causó tanta emoción que no pudo dormir aquella noche. Se había dado cuenta de que el comportamiento de la superficie de los agujeros negros guardaba una sorprendente relación con la segunda ley de la termodinámica. Según esta ley, la entropía (o el desorden) dentro de un sistema aislado siempre será

igual o aumentará, por lo que cuando dos de estos sistemas se unen, la entropía del sistema combinado es mayor que la suma de las entropías de los sistemas individuales. Básicamente esto significa que si se deja que las cosas evolucionen por sí mismas, el caos permanecerá igual o aumentará, pero nunca disminuirá. (El propio Hawking ofrecía el ejemplo de una casa: solo hay que dejar de hacer arreglos en ella para que el caos aumente. Para crear el orden o para reparar el desorden, es necesario emplear un gasto suplementario de energía.)

Esta ley explica por qué ciertos procesos son irreversibles. Si tomamos un vaso, entendiéndolo como un sistema autónomo, y lo dejamos caer al suelo, sus fragmentos nunca se reunirán por sí mismos, ya que esto haría decrecer su entropía. La entropía determina la dirección que un proceso irreversible debe seguir. De algún modo, indica la dirección en la que el tiempo debe seguir. Si esto es así, ¿por qué el comportamiento de los agujeros negros recuerda a la segunda ley de la termodinámica? ¿Podría significar que de algún modo esta ley puede aplicarse a los agujeros negros, hasta entonces considerados fenómenos no gobernados por este tipo de leyes?

Hasta este momento, los cálculos relativos a los agujeros negros se habían basado en la relatividad, que explicaba el comportamiento de los grandes cuerpos, pues se habían descartado los efectos que tenían lugar a nivel subatómico, los cuales respondían a la teoría de la mecánica cuántica. Los minúsculos efectos subatómicos eran desechables cuando se manejaban magnitudes tan grandes como las del colapso de las estrellas o los agujeros negros. Hawking iba a demostrar cuán errónea era esta afirmación. La mecánica cuántica proporcionaba una clave fundamental para explicar la verdadera naturaleza de los agujeros negros.

En primer lugar, es necesario entender algo de mecánica cuántica. Uno de los postulados fundamentales y más sorprendentes de la física cuántica fue establecido por Werner Heisenberg, un físico alemán, en 1927, cuando tenía solamente veintiséis años de edad y ya era una figura indiscutible de la teoría cuántica. El gran descubrimiento de Heisenberg fue el principio de incertidumbre, que establece que es imposible determinar simultáneamente la posición e impulso de un electrón.

Heisenberg mantenía que esto no podía hacerse ni siquiera teóricamente, porque las nociones mismas de posición exacta y velocidad exacta, tomadas a la vez, no tenían significado alguno para la naturaleza. De hecho, este postulado es cierto para *todas* las cosas de la naturaleza, desde las partículas subatómicas a las tortugas gigantes o a las galaxias, pero solamente en niveles atómicos o inferiores las discrepancias se hacen representativas.

Una sencilla ilustración de esta idea ocurre cuando intentamos determinar la posición precisa de un electrón. Esta partícula es tan pequeña que solo puede detectarse mediante algo que tenga una longitud de onda suficientemente pequeña, como los rayos gamma. Pero cuando estos rayos chocan con el electrón, afectan a su velocidad de un modo impredecible. Es imposible determinar la posición del electrón sin alterar su velocidad, y cuanto más precisamente intentemos determinar su posición –utilizando luz de muy corta longitud de onda– más se alterará su velocidad. Igualmente, cuanto menos

interfiramos en su velocidad, tanto menos seremos capaces de medir su posición.

Este principio de incertidumbre, válido tanto para las partículas como para los campos –que se pueden imaginar formados por partículas–, produce asombrosos resultados cuando lo aplicamos al espacio:

—El espacio también es un campo.

Pero ¿cómo? Probablemente el espacio está por definición vacío, es un vacío.

—De acuerdo con el principio de incertidumbre de Heisenberg, esto, sencillamente, no puede ser así.

¿Por qué no?

—Hemos demostrado que es imposible medir con precisión y simultáneamente el valor de un campo y la velocidad a la que cambia. Esto es válido tanto para campos como para partículas.

¿Entonces?

—Pues significa que ningún campo puede medir exactamente cero, porque representaría una medida *exacta* de su valor y de su velocidad, lo cual es imposible según el principio de incertidumbre. Sin embargo, si queremos un espacio vacío, el campo ha de ser exactamente cero.

¿Entonces no existe nada parecido al espacio vacío?

—Precisamente (o quizá casi precisamente).

¿Entonces qué es lo que tenemos en su lugar?

—De acuerdo con el principio de Heisenberg, incluso en el espacio siempre habrá una mínima incertidumbre.

¿Y esto qué significa?

—Se puede imaginar esta incertidumbre como una oscilación mínima desde justo por encima de cero hasta justamente por debajo de cero, pero nunca *exactamente* cero.

¿Y cómo ocurre esto?

—Podemos explicar lo que ocurre de la siguiente manera: ya que no podemos tener nada, en su lugar tenemos pares de partículas virtuales, que son las responsables de las oscilaciones a ambos lados de cero.

Pero ¿qué son estas partículas virtuales, y qué papel juegan en las oscilaciones?

—Estos pares de partículas virtuales consisten en una partícula y una antipartícula, una positiva y la otra negativa. Cuando se juntan se anulan la una a la otra, por lo cual están constantemente apareciendo y desapareciendo de la realidad. Esto explica las pequeñísimas oscilaciones por encima y por debajo de cero.

¿Y esto qué tiene que ver con los agujeros negros?

—Los agujeros negros existen en el espacio, lo que significa que este proceso se produce constantemente a su alrededor.

Hawking especuló sobre qué ocurriría en la superficie de un agujero negro, en el horizonte de sucesos. Este espacio contendría también pares de partículas virtuales, que aparecen en la realidad. Pero antes de anularse unas a otras, serían afectadas por el agujero negro, que atraería a la partícula negativa expulsando simultáneamente la partícula positiva, la cual escaparía en forma de radiación. El agujero negro emitiría

efectivamente radiaciones térmicas, es decir, calor; tendría, por tanto, una temperatura mensurable.

De igual modo, la partícula con alta entropía que cae en un agujero negro haría aumentar de tamaño la superficie del agujero negro. (Como hemos visto, la superficie del agujero negro depende del radio de Schwarzschild, que, a su vez, depende de la masa.) Un aumento en la superficie del agujero negro, por pequeño que este sea, marca un aumento de la entropía del agujero negro, pero que este tenga entropía significa también que debe tener temperatura.

Esta temperatura sería en realidad casi insignificante, tan solo millonésimas de grado sobre el cero absoluto, pero está ahí. Hawking había demostrado que los agujeros negros no eran tan «negros», ya que emitían radiación, es decir, calor, estaban calientes.

Las implicaciones de esta demostración transformaron por completo la concepción de los agujeros negros. Después de todo no eran infinitos agujeros atascados en el universo, en cuyas profundidades la materia, el espacio-tiempo y las leyes de la física desaparecían, sino que ahora se podían considerar objetos que existían *dentro* del universo. Obedecían a la segunda ley de la termodinámica; tenían entropía, lo que significaba que incluso tenían tiempo. Ya no eran invisibles, sino que podían ser «observados» por las leyes de la física.

Pero esto no era todo. Al combinar la gravedad de los agujeros negros y el comportamiento de las partículas virtuales, Hawking había combinado por primera vez la mecánica cuántica y la relatividad.

Enseguida se empezó a propagar la noticia de que Hawking había dado con algunas ideas que «cambiaban todo». Poco después, en febrero de 1974, Hawking fue invitado a Oxford a dar una conferencia sobre los agujeros negros, organizada por el matemático John Taylor que se consideraba a sí mismo algo parecido a un experto en agujeros negros. Al término de otras intervenciones, Hawking fue invitado a subir al estrado en su silla de ruedas. Comenzó su alocución con su voz quejumbrosa y casi incomprensible. El auditorio se esforzaba en prestar atención, sin poder dar apenas crédito a lo que estaban escuchando. Si lo que decía Hawking era verdad, entonces sí que todo cambiaba radicalmente, pero Hawking terminó con una afirmación todavía más espectacular: un agujero negro tenía tiempo, entropía, y esta entropía aumentaba como cualquier otra. Esto significaba que un agujero negro acabaría evaporándose en radiación pura o, en otras palabras, al final «explosionaría».

El auditorio recibió las palabras de Hawking con un estupor silencioso. Entonces, Taylor se puso en pie como un resorte y dijo: «Lo siento, Stephen, pero eso es una solemne tontería». Sin casi poder contener su rabia, dio media vuelta y salió airosamente de la habitación.

Un mes después, Hawking publicó sus descubrimientos en un artículo que apareció en la revista *Nature* bajo el título de «¿Estallan los agujeros negros?», que su antiguo tutor y colaborador, Dennis Sciama, describió como uno de los más hermosos de la historia de la física. Fue comparado con el artículo de Einstein sobre la teoría general de la relatividad. Su importancia, aunque fundamental, no tenía la misma magnitud, pero

logró un impacto de respuesta similar a aquel otro en quienes se negaban a entenderlo. Algunos meses más tarde, Taylor publicó una agresiva réplica en *Nature,* despreciando las ideas de Hawking sobre la explosión de los agujeros negros. Pero a esas alturas, la batalla había prácticamente terminado. Las ideas de Taylor al igual que la teoría del estado estacionario de Hoyle eran una cosa del pasado. El mundo científico no es ajeno a la evolución, y aquí también imperan las leyes de la supervivencia de los más aptos, incluso aunque parezcan no estar entre los individuos mejor dotados de su especie.

Para entonces, la enfermedad de Hawking había degenerado hasta un grado alarmante. Ya no podía andar ni siquiera ayudado, y se vio obligado a moverse en una silla de ruedas motorizada. No podía alimentarse por sí mismo y si la cabeza se le caía hacia delante sobre el pecho, no era capaz de levantarla. Estos obstáculos suponían un profundo revés psicológico para un hombre de orgullo y voluntad como él, que apreciaba su independencia, pero siguieron otros acontecimientos más penosos. El habla de Hawking seguía deteriorándose, y hasta para sus más allegados era ya difícil entender lo que intentaba decir. Al mismo tiempo, perdía a gran velocidad su capacidad para escribir. Su mente había alcanzado la cumbre de su potencial, pero ¿cómo iba a poder comunicar sus pensamientos ahora?

Sin embargo, qué podía esperarse. Habían pasado *15 años* desde que a Hawking le habían vaticinado dos años de vida. Su supervivencia era absolutamente milagrosa, tanto como los descubrimientos que seguía haciendo en la cosmología. El vínculo entre ambas no era una mera casualidad, pues indicaban cualidades excepcionales de mente y voluntad.

En 1979, con treinta y siete años, Hawking fue nombrado profesor de la Cátedra Lucasiana de Matemáticas en Cambridge, un puesto que ya habían desempeñado previamente Isaac Newton y, más tarde, Babbage, padre del ordenador. Hawking se sintió enormemente honrado. Algunos meses más tarde, cuando se dio cuenta de que no había firmado en el libro puso todo su empeño en inscribir su nombre. Como diría más adelante: «aquella fue la última vez que pude escribir mi nombre».

A pesar de estas dificultades, Hawking insistió en hacer vida social en Cambridge. Jane y él salían a cenar, acudían a fiestas y, pronto, el nuevo catedrático lucasiano se hizo con una reputación de parroquiano habitual. Nada de esto habría sido posible sin Jane, quien, en palabras de un amigo íntimo, es «una mujer extraordinaria que se preocupa de que él haga lo mismo que cualquier otra persona: van a todas partes y hacen de todo». Lo que más lamentaba era no poder jugar con sus hijos. Hawking empezó a utilizar su recién adquirido prestigio en pro de la causa de los discapacitados. Pudo dar salida a su naturaleza combativa en algunas enérgicas cartas dirigidas al ayuntamiento de la ciudad de Cambridge para que instalasen rampas o rebajaran la altura de las aceras. Gracias a su éxito en estas campañas, la Asociación Real en favor de la Rehabilitación de los Discapacitados le concedió el premio al «hombre del año».

La enfermedad de Hawking podía haberse estabilizado, pero muchos de sus amigos, físicos teóricos, no creían que pudiese durar mucho más. Pero Hawking volvió a cortar el césped bajo los pies de sus amigos con su conferencia inaugural como catedrático

lucasiano. Con el título de «¿Está cerca el final de la física teórica?», la conferencia fue seguida por un gran número de personas y leída por uno de los alumnos de Hawking.

En ella, Hawking abordó una idea que se convertiría más adelante en algo parecido a un caballo de batalla, concretamente, la teoría de la gran unificación, donde se ofrecía una descripción completa, sólida y unificada de «todo», es decir, todas las partículas elementales y todas las interacciones físicas que tenían lugar en el universo reducidas a un grupo de ecuaciones, algo que supondría «el final» de la física teórica. Hawking reconocía que después de esto «quedarían muchas cosas por hacer», pero sería como «hacer montañismo después de haber conquistado el Everest».

Esta llamada «explicación última» ha demostrado ser una notable ilusión. El primer filósofo griego, Tales de Mileto, que vivió en el siglo VI a.C., estaba convencido de que lo había encontrado y de que era el agua. En los siglos transcurridos desde entonces, filósofos y científicos han estado siempre convencidos de que la habían encontrado, o de que estaban apunto de encontrarla. Los candidatos han sido el fuego, el aire, los átomos, los axiomas de la geometría, las mónadas, la gravedad, de nuevo los átomos, el lenguaje lógico y muchas, muchas más. En el momento de dar su conferencia, Hawking pensaba que había bastantes probabilidades de que la teoría de la gran unificación se descubriese a finales del siglo XX. Incluso sugirió que un posible candidato era N=supergravedad 8.

Durante algún tiempo se ha sospechado que una forma de gravedad podría ser la clave, dado que la constante de gravedad (G) parecía determinar la estructura del universo, y que era tal vez proporcional a su edad, pero finalmente se ha demostrado que esta teoría era más compleja que totalizadora.

Desde entonces, Hawking ha revisado su punto de vista en favor de la teoría de las supercuerdas. Según esta, los objetos fundamentales que constituyen el universo son objetos de una única dimensión parecidos a cuerdas más que a partículas diminutas. Se dice que estos *fettuccine* infinitamente delgados miden unos 10^{-35} metros de largo, y que podrían unificar todas las partículas y fuerzas conocidas en la salsa boloñesa definitiva. Pese a ello, Hawking reconoce que la teoría de las supercuerdas necesitará al menos 20 años para desarrollarse. Entonces habremos resuelto el último problema: será posible conocerlo todo.

Sin embargo, llegados a este punto, conviene recordar las palabras de Wittgenstein cuando creía haber llegado «a la solución final de los problemas de la filosofía», porque solo entonces pudo darse cuenta «de lo poco que se consigue cuando se resuelven estos problemas». Al contrario que la ciencia, la filosofía ha madurado en el siglo XX al reconocer que no existe nada parecido a una verdad absoluta ni en sentido filosófico ni en sentido científico. Tanto la ciencia como la filosofía son sistemas con los que vivimos*, y nuestra noción de estos sistemas también evoluciona* junto a nuestra noción de la verdad. Ambos sistemas se basan en lo que nos es útil, y encajan en el modo que hemos elegido de ver el mundo. La última supercuerda tiene tan pocos visos de ser «la verdad» como el fuego o los átomos, aunque, por otra parte, pueda parecer *tan cierta* como lo parecieron aquellas otras en su tiempo.

Desafiando a la enfermedad, Hawking siguió empeñado en viajar. Para entonces se

había convertido en un científico de fama internacional y estaba resuelto a ocupar su puesto en el escenario científico internacional. Viajó a Suiza, Alemania y Estados Unidos. La enfermedad le obligaba a recurrir, cada vez con mayor frecuencia, a su memoria, que con su tenacidad característica entrenaba hasta un punto increíble. En un seminario en Caltech dejó perplejos a los estudiantes al dictar de memoria una ecuación de 40 términos. Por desgracia, el genio de la teoría cuántica, Gell-Mann, estaba presente y se sintió obligado a señalar que si su memoria no le traicionaba, Hawking se había olvidado de un término. Resultó que Gell-Mann tenía razón. Donde hay supergravedad y supercuerdas, es posible que exista también supermemoria.

A principios de los años ochenta, Hawking comenzó a dictar algunas ideas para un libro divulgativo sobre cosmología con el que pretendía ganar algún dinero para pagar la matrícula del colegio de su hija. En 1985 había terminado su primer borrador y decidió revisarlo durante sus vacaciones estivales. Entonces vivía en un apartamento alquilado en Ginebra, al cuidado de una enfermera y de un asistente investigador, mientras que Jane se había marchado de viaje por Alemania. Antes de editar su manuscrito, Hawking pasó algún tiempo en el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN). Aquí, los gigantescos aceleradores de partículas, de varios kilómetros de circunferencia, producían una asombrosa información práctica sobre las partículas subnucleares.

Una noche, cuando la enfermera de guardia de Hawking fue a mirar en su dormitorio, durante una de sus rutinarias comprobaciones cada media hora, observó que ocurría algo grave, porque el rostro de Hawking se había puesto morado y le costaba respirar; un gorjeo ahogado salía de su garganta.

Hawking fue trasladado de urgencia al hospital, donde se le aplicó inmediatamente la respiración asistida. Los doctores descubrieron que tenía bloqueado uno de sus conductos respiratorios y que sufría de neumonía, un hecho común en los últimos estadios de la ELA. Durante algunos instantes daba la impresión de que ya no llegaría a la mañana siguiente. Se hicieron diferentes llamadas telefónicas a la lista de números que Jane había dejado; finalmente se la localizó en Bonn, a casi 600 kilómetros de distancia.

Cuando Jane llegó aquella tarde, Hawking ya estaba fuera de peligro, aunque conectado aún a una unidad de vigilancia intensiva. Jane tenía que enfrentarse a una decisión durísima: Hawking necesitaba ventilación para respirar. No tenía prácticamente ninguna posibilidad de sobrevivir si no se le practicaba una traqueotomía, una operación en la que se le haría una incisión en la garganta para colocarle un instrumento que le permitiese respirar. Esta operación salvaría su vida, pero también significaba que no podría volver a hablar nunca. ¿Estaba dispuesta a condenar a uno de los mejores científicos de su tiempo al silencio para el resto de su vida? Jane decidió que la vida de su marido era más importante que nada de lo que tuviera que decir, por mucho que temblaran los cimientos del universo. Hawking fue operado y perdió la capacidad para hablar.

Cuando regresaron a Cambridge, los Hawking se vieron obligados a construir su vida de nuevo. A partir de ahora necesitaría el equipo de enfermeras más caro durante 24 horas al día, un gasto que sencillamente no podían permitirse. La Seguridad Social había

sugerido que se le confinase a una institución para enfermos incurables. El único modo por el que Hawking podía comunicarse era parpadeando o indicando con dificultad letras en un tablón situado frente a él.

Jane se puso a escribir cartas a instituciones caritativas de todo el mundo. Afortunadamente, una organización caritativa norteamericana salió al paso enseguida con ayuda financiera. Las noticias de la difícil situación de Hawking se extendieron por toda la comunidad científica. Como consecuencia de esto, el especialista informático californiano Walt Woltosz envió a Hawking un programa de ordenador que acababa de grabar. Se llamaba *Ecualizador,* y le permitía seleccionar de una pantalla cualquier palabra de entre un menú de 3.000. Su amigo David Mason, cuya esposa Elaine sería una de sus enfermeras, adaptó esta herramienta informática a la silla de ruedas de Hawking. El ingenio se movía por medio de un sensor adaptado al movimiento de la mano que requería un mínimo desplazamiento del dedo, pues ese era todo el movimiento que él podía realizar. Una vez construida la frase, el sintetizador de voz la pronunciaba.

Todo esto requería práctica. Pero tras algún tiempo, una de las mejores mentes de su tiempo podría reunir hasta 10 palabras al minuto. En otras palabras, la frase anterior le habría costado unos dos minutos, y eso tomando algunos atajos. «Es algo lenta», comentó Hawking, «pero como pienso con lentitud, me va bastante bien».

La verdad de estas palabras no era tan halagüeña. En realidad, odiaba el sintetizador. Según la amable interpretación de sus biógrafos, Michael White y John Gribben: «No suena del todo como un robot». Y en palabras de Jane: «había días en que pensé que no podría seguir adelante, porque no sabía cómo soportarlo».

Mientras tanto, Hawking continuaba con su búsqueda científica del Santo Grial, «la respuesta última». Para lograrlo sería necesario combinar de algún modo las cuatro fuerzas conocidas que hasta entonces se habían descubierto en el universo, y que eran:

1. La gravedad. Controla la estructura más amplia del universo, incluyendo las galaxias, las estrellas y los planetas. (La gravedad había sido la candidata con más votos desde que Newton la descubriese en el siglo XVII superando el mecanismo de relojería, como proponían los filósofos científicos de la generación precedente.)
2. La fuerza electromagnética. Es «el pegamento» que mantiene unidos los átomos y es responsable de todas las reacciones químicas.
3. La fuerza nuclear fuerte. Mantiene unidos a los protones y neutrones en los núcleos de los átomos y es responsable de reacciones tales como la fisión o la fusión nucleares.
4. La fuerza nuclear débil. Es la responsable de la desintegración radiactiva del núcleo, cuando hay emisión espontánea de partículas alfa y beta.

Estas cuatro fuerzas se separaron para convertirse en entidades distintas cuando el universo tenía menos de un nanosegundo de existencia, es decir, una milmillonésima (10^{-9}) de segundo.

Como hemos visto, las ideas en torno a la teoría de la gran unificación tienen una larga

historia, casi tanto como la propia ciencia. Sin embargo, la teoría en su forma actual solo tomó carta de naturaleza en el siglo XX, cuando las teorías de la mecánica cuántica y de la relatividad transformaron nuestra visión del universo. Hasta aquel momento se pensaba que solo dos fuerzas operaban en el universo: la gravedad y el electromagnetismo.

En los años veinte, parte del electromagnetismo de Maxwell se combinó con la teoría cuántica de la gravedad para producir la electrodinámica cuántica (Quantum Electro Dynamics). Se había bautizado, con cierto optimismo, con las siglas del adagio latino QED (*quod erat demostrandum* o lo que se trataba de demostrar), que suele aparecer al final de una prueba geométrica. QED parecía preparada para explicarlo todo. Tanto que en 1928 el profesor de física de Gotinga, el gran teórico alemán Max Born, anunció: «La física, tal como la conocemos, habrá terminado en seis meses».

Pero Born no necesitaba preocuparse, porque su empleo estaba a salvo. Para cuando QED había recibido suficiente respaldo teórico, ya se habían detectado dos nuevas fuerzas nucleares, una débil y otra fuerte, que operaban en el núcleo del átomo.

Los científicos adivirtieron pronto un curioso parecido entre la fuerza nuclear débil y la fuerza electromagnética. En la década de 1960, se desarrolló una teoría matemática que describía ambas fuerzas en una única ecuación matemática; se la llamó teoría electrodébil, que predecía la existencia de tres partículas subnucleares, entonces aún desconocidas (W^+, W^- y Z^o). En 1983 se descubrieron las tres en un acelerador de partículas en el CERN de Ginebra. Dos de las cuatro fuerzas se habían combinado, lo que dejaba solo tres.

QED era obviamente el nombre del juego. Los físicos se pusieron a trabajar para descubrir otra teoría que incorporara la fuerza nuclear fuerte, encargada de mantener unidos a protones y neutrones en el núcleo del átomo.

Desgraciadamente, las partículas nucleares básicas, protones y neutrones, se habían desmenuzado todavía más. En Caltech, Gell-Mann había descubierto que estas partículas elementales estaban formadas por partículas aún más elementales. Con su característica erudición las bautizó con el nombre de quarks, cuyo origen está en la cita del *Finnegans Wake* de James Joyce: «Tres quarks para Muster Mark», una obra maestra modernista que Gell-Mann gustaba de leer en su tiempo libre, y que es aún más difícil de entender que el universo.

Una vez más, la arena se les escurría entre los dedos a los teóricos que estaban convencidos de que podían comprenderlo todo. Los quarks requerían una nueva teoría que explicase cómo interactuaban, algo que se solucionó debidamente con la llamada QCD (Quantum Chromo Dynamics), cronodinámica cuántica. Los teóricos se pusieron a trabajar rápidamente para combinar la QCD con las fuerzas electromagnéticas y nucleares débiles antes de que se descubriese alguna otra fuerza. El resultado de esta combinación se llamó teoría de la gran unificación o TGU. Pero, como puede suponerse, esta TGU no acabó por unificar nada, pues con las prisas los teóricos se habían olvidado por completo de la gravedad.

Hawking emprendió la terrible tarea de intentar poner remedio a esto a través de la

combinación de una serie de ecuaciones que vinculasen la gravedad con las otras fuerzas básicas. Tal como él mismo lo expresó, «si encontramos la respuesta a eso, sería el triunfo último de la razón humana, pues entonces conoceríamos la mente de Dios». No olvidemos que el conocimiento de esta Etérea Entidad, y su funcionamiento, tiene también una larga historia, pues ya Pitágoras había sido el primero en formular la hipótesis de que la mente de Dios *tenía que* estar de acuerdo con las matemáticas, en el siglo V a.C.

La búsqueda había empezado, pero ¿por dónde empezar? La supergravedad N=8 se descartó porque era demasiado difícil de utilizar, pues manejaba al menos unos 154 tipos diferentes de partículas elementales (de las cuales, solo menos de tres docenas ya han sido descubiertas). Contando con todo el poder informático del mundo, la más sencilla de las operaciones no llevaría menos de cuatro años.

La teoría de las supercuerdas se convirtió entonces en la sospechosa número uno, pero pronto también ella empezó a generar intrincadísimos problemas, uno de los cuales era que comprendía al menos 26 dimensiones. Para que fuese posible esta aparente imposibilidad, cada punto del espacio debía verse como un nudo espacial de 22 dimensiones enroscado y comprimido de forma tan compacta que solo ocupase 10 billonésimas de centímetro o 10^{-13}. Pero, por si esto no era suficiente, surgió la teoría del gusano, según la cual los agujeros negros escapaban a otros universos, donde emergían como agujeros blancos que escupían todo lo que se habían tragado anteriormente. (Por suerte, se ha frenado el carro de esta desenfrenada teorización en la que, al parecer, se había dado rienda suelta a la imaginación. No obstante, la teoría del gusano como tal sigue hoy día perforando el queso de múltiples universos.)

Demasiado poco, demasiado tarde. A pesar de los vanos intentos de simplificación, muchos han dado por perdida la teoría de las supercuerdas como una posible teoría de la gran unificación. Algunos científicos han empezado a preguntarse si tal vez toda la búsqueda puede haber sido en vano, aunque les queda aún por llegar al estado de resignación que han conseguido los filósofos. La ciencia no se dará por vencida tan fácilmente.

¿Perseverancia u obstinación? De acuerdo con los científicos, la TGU se descubrirá ciertamente un día. Solo hay un obstáculo: a menos que ocurra un milagro, será probablemente tan complicada que será incomprensible, en cuyo caso estaremos donde empezamos.

Pero los milagros ocurren. En 1987, Hawking terminó su famoso libro sobre la cosmología, que aceptó la editorial Bantam. El título completo era *Historia del tiempo: del big bang a los agujeros negros,* y se publicó el 1 de abril[3]. Bantam nunca había publicado antes un libro científico, pero el interés en la cosmología estaba aumentando. «Tenían confianza» en que el libro de Hawking superaría el obstáculo con ventas millonarias.

El resto es historia. Desde el primer día, *Historia del tiempo* fue un éxito arrollador. Tras 10 años, había sido traducido a 30 idiomas y vendido seis millones de ejemplares en todo el mundo. ¿Por qué? Nadie lo sabe en realidad, aunque se han barajado toda clase

de teorías. Tal vez todo el mundo pensó que tenían que saber algo sobre ciencia, y que esta era su oportunidad de comprar –si no necesariamente de leer– un buen libro divulgativo sobre la materia, escrito por el experto más reconocido. Tal vez daba el necesario toque intelectual a la mesilla del salón; o porque era el regalo de Navidades perfecto para abuelos, nietos, sobrinos, tíos, la generación aparentemente analfabeta que solo parecía interesarse en ruidos y ordenadores; o porque era fácil de usar, o porque era perfecto para formar futuros premiados: había necesidad de un nuevo Einstein. Las mujeres se lo regalaban a los hombres, y las mujeres lo leían –incluso si los hombres no lo hacían–. Proliferaron las teorías, y los investigadores del mercado se vieron abrumados por el trabajo, porque querían descubrir cómo fabricar el *siguiente.*

Todo el mundo parecía estar de acuerdo en una cosa: la gente compraba el libro, pero realmente no lo leían. Estaban demasiado ocupados, demasiado cansados, o tenían cosas más interesantes que hacer. Pero esto no es del todo verdad. De los millones de copias vendidas, al menos unos pocos ejemplares se han leído de cabo a rabo. El impacto en la gente, la mayoría jóvenes, que llegaba a la página 182 era tremendo. No exageramos si decimos que este libro ha creado una nueva generación de científicos. Un día los futuros ganadores de premios Nobel recordarán: «Entonces, un día leí *Historia del tiempo* y supe lo que quería hacer». Así es como un libro de ese tipo cambia el mundo.

¿Y qué decir respecto al libro? Para empezar, es de fácil lectura. Y no hace falta decir que está bien documentado. Por supuesto, los conceptos son difíciles y es difícil hacerlos más sencillos sin simplificarlos. Hawking lo consigue. Algunos títulos de capítulo muestran los temas que aborda: El universo en expansión; Los agujeros negros; El origen y el destino del universo; La unificación de la física.

El libro concluye con algunas cuestiones filosóficas al mismo tiempo que fustiga «a los filósofos que no han sido capaces de estar a la altura del avance científico». Aunque las meditaciones de Hawking desaparecerán en cualquier agujero negro filosófico, tienen interés e importancia, pues es así como *piensa* un gran científico moderno en el filo mismo de su campo científico. Algunos de los pocos presupuestos filosóficos hechos por los científicos modernos pueden ser disparatados o, sencillamente, erróneos, pero se han utilizado y son *productivos*. Han producido buena parte del mejor pensamiento de nuestro siglo. ¿Entonces la filosofía importa algo a la ciencia? Parece ser que Hawking piensa que finalmente sí que importa.

En su conclusión en *Historia del tiempo,* Hawking trata de asuntos tales como la naturaleza de Dios y las teorías de la unificación. No se examina, ni siquiera se considera relevante, si existe alguna de estas dos entidades problemáticas, aunque Hawking es un gran creyente de la segunda y no de la primera. No obstante, hay una cuestión filosófica fundamental que sí aborda: «el procedimiento habitual de la ciencia de construir un modelo matemático no responde a la cuestión de por qué tiene que existir un modelo de universo». En realidad, Wittgenstein, un filósofo que Hawking desprecia particularmente, ya se planteó sucintamente esta pregunta hace más de 70 años: «no es *cómo* está hecho el mundo lo que es místico, sino *el hecho* de que exista».

Hawking pregunta: «¿Es la teoría de la unificación tan contingente que genera su

propia existencia?». Tampoco esta es, una vez más, una idea novedosa. Los filósofos medievales sostuvieron que la idea de la perfección debía incluir la idea de la existencia, entendiendo que esta es una prueba de la existencia de Dios. En el universo de Hawking –o universos, un imposible pero, al parecer, necesario plural– no hay mucho espacio para Dios, porque si bien *tuvo* la elección de crear el universo, el universo *tenía que* crearse, y tenía que crearse en el modo en el que fue creado. ¿Por qué? «Puede muy bien existir solo una o unas cuantas teorías unificadas completas, tales como la teoría de las cuerdas heteróticas, que sean autoconsistentes y que permitan la existencia de estructuras tan complicadas como seres humanos que puedan investigar las leyes del universo e interrogarse acerca de la naturaleza de Dios.» Pero una teoría así es tan unificada y completa como una serpiente que se muerde la cola.

Después de la publicación de su *best seller,* Hawking se convirtió de la noche a la mañana en una celebridad. El pequeño hombre en su silla de ruedas motorizada era ya una más de las atracciones de Cambridge, bueno, siempre que se encontraba allí, porque le llovían las invitaciones desde todas partes del mundo. Viajes al extranjero o condecoraciones eran el pan de cada día. Jane tenía ahora un trabajo de profesora, que la mantenía en Cambridge durante todo el año escolar, así que en sus viajes, a Hawking le acompañaba su enfermera, Elaine Mason. Ahora, la posición de Jane había variado. Se hizo una película para la televisión sobre la vida de su marido, titulada *Master of the Universe*. Jane pensó que en ella su papel debía consistir en decirle que «él no era Dios».

Las consecuencias fueron tal vez inevitables. En 1990, el matrimonio entre Jane y Stephen Hawking se rompió. Hawking se trasladó a un piso con su enfermera Elaine, todavía casada con su amigo David Mason, el ingeniero informático. Vinieron tiempos amargos. Nadie –o lo que es igual, todos– tenía la culpa. El proceso fue muy científico. Cuanto más complicada era la situación, más difícil era explicarla. Sin embargo, no hay teoría de la unificación para las emociones humanas. (Tal vez la teoría de la gran unificación terminará siendo la teoría de todo excepto de lo que único que importa.)

Desde la supercuerda a los oropeles de la fama. En 1990 Hawking fue a Hollywood, donde conoció a Steven Spielberg. Ambos se admiraban mutuamente. Spielberg le prometió que produciría una película de *Historia del tiempo*. Hawking sugirió que debía llamarse *Regreso al futuro 4*. Se prometieron no perder el contacto.

El rodaje empezó finalmente en los Estudios Elstree, cerca de Londres, dotado con una perfecta réplica del despacho de Hawking en el DMAFT. Cuando volvió a Cambridge, a descansar como cualquier otro actor, Hawking empezó a preguntarse sobre sus posibilidades de ganar un Oscar por «El mejor papel secundario en la película del Universo». Pero, desgraciadamente, los estudios universales donde trabajaba solo le hacían candidato al premio Nobel (un tipo de Oscar para la gente que no consigue triunfar en el mundo real). Obviamente, Hawking estaba muy interesado en obtener el premio Nobel, no en vano tiene la entrada más extensa en el índice de *Historia del tiempo*, pero sus posibilidades de ganarlo son pequeñas.

¿Por qué? Como en cualquier otro campo de estudio científico, las teorías abundan. Según una de ellas, una cosmóloga le puso los cuernos al magnate sueco de la dinamita,

Alfred Nobel, fundador del premio homónimo. De ahí que en las bases este decretase que su premio debía estar abierto a todos los científicos, *excepto* a los cosmólogos. Con todo, el Nobel de Física ha sido ya concedido a cosmólogos en un par de ocasiones. De acuerdo con otra norma de su reglamento, los premios científicos se conceden a la ciencia, y en los albores del siglo, cuando Nobel creó el premio, la ciencia se limitaba a algo que podía *probarse* mediante observación o experimento, por lo que por muy asombrosos que fueran los argumentos teóricos, no se consideraban suficiente. El trabajo de Hawking no puede probarse. («Yo estuve allí, yo vi el principio del universo.») Por supuesto, la ciencia es aún incapaz de probar la existencia de los agujeros negros.

No en vano, Hawking trabaja en el Departamento de Matemática Aplicada y Física Teórica. Si se probase su trabajo, podría convertirse en algo práctico y perdería su despacho. En ese despacho, Hawking ha realizado gran parte de sus más profundas reflexiones –siempre con la nota de «Silencio, por favor, el jefe duerme», colgada en la puerta–. Tal vez es así como podemos imaginárnoslo mejor. Una pequeña figura humana aovillada en una silla de ruedas automática, con su pantalla de ordenador, el espejo y toda clase de ingenios mecánicos y cables, haciendo que los cálculos infinitesimales encajen en una gran teoría. En una mesa de despacho frente a él hay otra pantalla de ordenador y cientos de papeles apilados. Más allá, en un gran póster, Marilyn Monroe mira con ternura a su pupilo intelectual. Abstraído, Hawking sintoniza su mente con los límites del universo. De vez en cuando un ayudante o una enfermera entran en silencio y se marchan de nuevo, inadvertidos.

A las cuatro de la tarde exactamente, tiene lugar el ritual diario de la hora del té. Hawking, catedrático emérito desde 2009, es conducido por el corredor hasta una sala de reuniones, donde retratos de otros catedráticos lucasianos se alinean en las paredes. Los jóvenes investigadores allí reunidos charlan animadamente e intercambian impresiones. Parecen una banda de *rock and roll* en un mal día, y su lenguaje es igualmente incomprensible para los seres humanos normales. La figura central de este grupo se sienta en una silla de ruedas con un babero. Una enfermera le sostiene la taza con una mano y la cabeza con la otra, inclinándosela de vez en cuando para que beba. Con las gafas caídas sobre la punta de la nariz, sus gruesos labios dan pequeños sorbos de té mientras las jóvenes voces debaten intensamente a su alrededor. Algunas veces la conversación se interrumpe, y algún miembro del grupo escribe una fórmula matemática en una mesa con superficie de formica («cuando queremos guardar algo, hacemos una fotocopia de la mesa», le dijo Hawking en una ocasión a un visitante).

De vez en cuando, el grupo se vuelve hacia la diminuta figura de la silla de ruedas, que articula con la mano una respuesta, que luego emite el sintetizador con su característica voz plana. Alguien del grupo suelta el típico comentario estudiantil de mal gusto, y la figura de la silla de ruedas deja asomar su resplandeciente sonrisa de oreja a oreja. Está en su elemento, en el centro de su propio universo matemático, que es ya materia para la leyenda.

1 En la serie de la BBC *Fawlty Towers,* el director inepto y maniático que rige un hotel disparatado. *[N. del T.]*

2 Es un examen de ámbito nacional sobre un campo determinado que deben realizar todos los estudiantes británicos entre diecisiete y dieciocho años. Se suelen exigir tres *A-levels* para entrar en la universidad. *[N. del T.]*

3 *April Fool's Day,* festividad equivalente al 28 de diciembre, Día de los Santos Inocentes. *[N. del T.]*

Grandes momentos de la historia del universo

– Aproximadamente hace 15.000 millones de años: El *big bang*.
– 10^{-43} segundos después: La fuerza gravitatoria se separa como entidad distinta del resto de las fuerzas combinadas del universo.
– 10^{-36} segundos después: El universo es del tamaño de un guisante. Su temperatura es de 10^{280} °C.
– 10^{-35} segundos después: La fuerza electromagnética se separa como una entidad distinta.
– 10^{-12} segundos después: La inflación comienza. El universo es, predominantemente, radiación.
– 10^{-10} segundos después: La fuerza nuclear débil se separa de la fuerza electromagnética.
– 1 segundo después: La temperatura cae hasta 10^{-10} °C.
– 5 segundos después: La formación de los primeros núcleos.
– 1.000 años después: Predomina la materia sobre la radiación.
– 1 millón de años después: Formación de los primeros átomos.
– 1.000 millones de años después: Aparecen las primeras galaxias.
– 5.000 millones de años después: Aparece la Vía Láctea.
– 10.000 millones de años después: Aparece el Sistema Solar.
– 14.999 millones de años después: Aparecen los homínidos sobre la Tierra.
– 15.000 millones de años después: Aparece Stephen Hawking.
– ¿20.000 millones de años después?: El universo llega a su máxima expansión.
– ¿35.000 millones de años después?: Aumento rápido de la proliferación de singularidades (agujeros negros).
– ¿40.000 millones de años después?: El *big crunch* (El final del universo).

Otras lecturas recomendadas

Stephen Hawking, *Historia del tiempo: del big bang a los agujeros negros* (Alianza, 1997). Un éxito de ventas mundial en el que Hawking ofrece una explicación del universo.

Stephen Hawking (ed.), *A Brief History of Time: A Reader's Companion* (Bantam). La historia de Hawking contada por sus amigos, su familia y por él mismo.

Michael White y John Gribben, *Stephen Hawking: una vida para la ciencia* (Plaza y Janés, 1992). El libro que más se aproxima a una biografía completa.

Gerard Kraus, *Has Hawking Erred? An appraisal of A Brief History of Time* (Janus). El punto de vista opuesto.

Stephen Hawking, *Agujeros negros y pequeños universos y otros ensayos* (Plaza y Janés, 1994). Para profundizar sobre el tiempo, el universo y todas esas cosas.

Stephen Hawking, *Breve historia de mi vida* (Crítica, 2014). La vida de Stephen Hawking contada por él mismo.

NEWTON
Y LA GRAVEDAD
EN 90 MINUTOS

PAUL STRATHERN

SIGLO XXI ESPAÑA

Siglo XXI de España / En 90 minutos

Paul Strathern

Newton y la gravedad

en 90 minutos

Traducción: Marta Fortes

Newton es uno de los científicos más influyentes de la historia. No solo desarrolló y formuló la teoría de la gravedad, proporcionando a la humanidad un primer atisbo del funcionamiento del universo, sino que, además, descubrió el concepto de fuerza, la naturaleza de la luz y cambió nuestra manera de calcular.
Newton y la gravedad resume brillantemente su vida y su obra, y explica, de un modo claro y conciso, el significado y la importancia de los descubrimientos que realizó, así como la manera en que estos han transformado nuestra vida diaria.

«90 minutos» es una colección compuesta por breves e iluminadoras introducciones a los más destacados filósofos, científicos y pensadores de todos los tiempos. De lectura amena y accesible, permiten a cualquier lector interesado adentrarse tanto en el pensamiento y los descubrimientos de cada figura analizada como en su influencia posterior en el curso de la historia.

Diseño de portada
RAG

Motivo de cubierta:
www.deimagenesyfotos.com

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes sin la preceptiva autorización reproduzcan, plagien, distribuyan o comuniquen públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo de soporte.

Nota a la edición digital:

Es posible que, por la propia naturaleza de la red, algunos de los vínculos a páginas web contenidos en el libro ya no sean accesibles en el momento de su consulta. No obstante, se mantienen las referencias por fidelidad a la edición original.

Título original
The Big Idea: Newton and Gravity

© Paul Strathern, 1997

© Siglo XXI de España Editores, S. A., 1999, 2014
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.sigloxxieditores.com

ISBN: 978-84-323-1688-3

Introducción

Defender que Newton es la mente más privilegiada que hasta ahora ha producido la humanidad podría dar lugar a una discusión bastante interesante: Shakespeare hacía uso del lenguaje mejor que nadie, Napoleón explotaba su carácter mejor que nadie, y nadie ha sido capaz de llevar el entendimiento humano hasta los extremos que lo hizo Newton.

Su trabajo representa un avance evolutivo en nuestra forma de pensar, un gigantesco paso para la humanidad. Mucho antes de que pusiéramos un pie en la Luna (o de que siquiera considerásemos tal posibilidad), la matemática de Newton sentó las bases para que tal hazaña pudiese ser realizada. Antes de Newton, la Luna formaba parte del firmamento, y se regía y estaba sometida a sus propias (y desconocidas) leyes celestes; después de Newton, pasó a ser un satélite de la Tierra que la fuerza gravitatoria del planeta mantenía en órbita. La humanidad tuvo un primer atisbo del funcionamiento de todo el universo.

Pero la teorización de las leyes de la gravedad universal solo fue el más grande de los inmensos e importantes descubrimientos que hizo Newton. El concepto de fuerza, el cálculo diferencial, la naturaleza de la luz, los fundamentos de la mecánica, las series de binomios, el método newtoniano de análisis numérico… la lista es casi interminable. Newton ha dado nombre a más unidades y entidades científicas y matemáticas que cualquier otro científico. El newton (la unidad de fuerza del Sistema Internacional de Unidades o SI), fluido newtoniano, fórmula de Newton (para lentes), anillos de Newton (en óptica), el cociente de Newton (en diferenciación) y otros muchos, cada uno de ellos resultado directo de su trabajo.

Aun así, todo esto fue posible únicamente porque Newton vivió en el momento histórico apropiado. Así como Dante únicamente pudo haber escrito su *Divina Comedia* en el contexto de la estricta y todopoderosa jerarquía de la Edad Media, Newton solamente pudo llevar a cabo todos sus descubrimientos una vez que Copérnico y Galileo hubiesen liberado la mentalidad científica de esas mismas rigideces. Como Newton mismo confesó: «Si he visto un poco más allá que otros es porque estaba encaramado a hombros de gigantes».

Habían caído las cadenas de la represión medieval, y la puerta del conocimiento humano se abría a un nuevo mundo. En opinión de Newton, su logro había sido insignificante: «Me veo meramente como un niño jugando en la orilla del mar que encuentra de vez en cuando una piedrecita más suave o una concha más bonita de lo normal, al tiempo que el grandioso océano de la verdad se extiende ante mí, todavía por descubrir». La modestia aquí exhibida queda mermada en contraste con su visión oceánica, que solamente él estaba en condiciones de ver. Conclusión esta que bien podía ser intencionada, ya que Newton no era lo que se dice modesto por naturaleza.

Así pues, ¿cómo era este hombre, el poseedor del más grandioso intelecto de la historia? En general, para sus contemporáneos Newton fue, más o menos, lo que ha sido Einstein en nuestra época: un excéntrico aburrido, perteneciente a una rara especie en

vías de extinción; el distraído genio de altura moral incuestionable: una figura distante pero en el fondo adorable, investida de inconmesurable gravedad por el aplastante peso de sus logros. En su época, Newton fue el solitario erudito al que sus pares eligieron miembro del Parlamento en representación de la Universidad de Cambridge; el venerado presidente de la Royal Society, reelegido sin oposición año tras año; y el director de la Royal Mint (Real Fábrica de Moneda), temido y odiado por los falsificadores de los suburbios londinenses. Como sucede muy a menudo, fue el pueblo llano el que reconoció al hombre por lo que era. Porque bajo esa austera fachada pública se escondía una personalidad perturbada y vengativa, que encubría sus propios secretos ilícitos.

Vida y obra

Isaac Newton nació el día de Navidad de 1642, en una casa solariega de la aldea de Woolsthorpe, en Lincolnshire. Casualmente, su gran predecesor científico, Galileo, había fallecido unos meses antes.

En el árbol genealógico de Newton no hay rastro de antepasados excepcionales. Su padre, que también se llamó Isaac Newton, era un boyante pequeño terrateniente incapaz de escribir su propio nombre. Según su familia, se trataba de «un hombre débil, violento y extravagante» que murió tres meses antes de que naciera su hijo. Su madre era hija de un caballero local sin un duro, y en general era considerada como una mujer ahorradora, acostumbrada al trabajo duro.

Isaac nació prematuramente, y era «tan pequeñito que cabía en un cacillo de litro». Nadie pensaba que fuese a sobrevivir más de un día. (El caso es que disfrutó de una salud excepcional, y vivió hasta los 84 años.) No habiendo conocido nunca a su padre, el joven Newton iba a «perder» a su madre cuando solo tenía 18 meses: en 1644, Hannah Newton se casaba con Barnabas Smith, de 63 años, un adinerado pastor protestante de la localidad, y se fue a vivir al pueblo de North Witham. El pequeño Isaac se quedó al cuidado de su abuela.

Newton no se recuperó jamás de este traumático suceso, y sus efectos imprimieron una huella indeleble en su carácter. Su vida adulta se vería marcada por incontrolables accesos de rabia, venganzas paranoides y ocasionales periodos de inestabilidad mental. Amaba a su madre, pero esta le había abandonado. No se decidía a odiarla, pero que el cielo ayudase a cualquiera que le proporcionase un blanco sobre el que descargar legítimamente toda la furia que reprimía en su interior.

De hecho, North Witham estaba solo a un par de millas valle arriba. El joven Isaac podía incluso vislumbrar la torre de la iglesia, más allá de los campos, desde la colina que se elevaba junto a su casa. Pero en la práctica había un mundo de distancia. Su verdadero padre estaba «en el cielo», y su madre había sido desterrada a los límites del mundo de su infancia. Durante su vida adulta, Newton se dedicaría en cuerpo y alma a cavilar larga y profundamente acerca de los cuerpos celestes y la naturaleza de la atracción que experimentaban unos hacia otros. No es nada sorprendente que los psicólogos piensen que esto es algo más que pura coincidencia.

Según el testimonio de uno de sus contemporáneos, Newton se convirtió en «un muchacho sobrio, silencioso y pensativo». Pero también era víctima de estallidos ocasionales y de auténticas rabietas. En el transcurso de una de estas rabietas, Newton recordaría posteriormente «haber amenazado a su madre y a su padrastro con quemarlos y quemar su casa». Así que, al parecer, su madre no siempre se libraba de su ira (y además la piromanía, aunque solo sea un pensamiento, rara vez denota absoluta normalidad).

Sin embargo, no era la mente de Newton lo único exaltado por aquel entonces: en el año en el que nació, las acciones de Carlos I, y su creencia en el «derecho divino de los

reyes», llevó finalmente a los parlamentarios a desafiar su reinado. La guerra civil resultante azotó Inglaterra durante los seis primeros años de la vida de Newton, y finalizó con la victoria de los parlamentarios y la ejecución de Carlos I en 1649. Durante la guerra civil hubo algunos episodios esporádicos de enfrentamientos y quema de casas en Lincolnshire. Los Newton y otras familias de pequeños propietarios locales se sentían inclinados a apoyar al rey, pero no hasta el punto de tomar las armas.

La victoria parlamentaria –la primera revolución llevada a cabo con éxito en Europa– fue testigo del establecimiento de la *Commonwealth* de Cromwell (1649-1660), y los posteriores excesos revolucionarios de rigor: se reforzó el puritanismo represivo, todos los bailes y muestras de alegría popular fueron prohibidos, e incluso la Navidad dejó de ser una fiesta en la que se comían dulces para convertirse en un día de oración. Sin embargo, tampoco en este sentido se vieron demasiado afectadas las familias granjeras de Lincolnshire. Llevaban ya mucho tiempo viviendo inmersas en el temor de Dios, leían la Biblia con especial atención y les escandalizaba todo lo relacionado con el sexo. El joven Isaac creció en un hogar de tradición puritana, por lo que adoptó sus costumbres con toda naturalidad. Aprendió a consultar la Biblia para descubrir los deseos de Dios padre, un hábito que conservaría durante toda su vida.

Pero Dios padre no era solo el Dios del cielo, sino también su padre celestial. En el siempre fértil campo de los estudios psicológicos sobre Newton, la mayoría coincide en señalar que Newton se dejaba guiar por una imperiosa necesidad inconsciente de conocer a su padre. Había aprendido de su fe que Dios padre había creado el universo, dejando algunas claves referentes a Su naturaleza e intenciones últimas. Durante toda su vida, Newton no cesó en su obsesiva búsqueda de estas claves en dos campos que venían al caso. Se consagraría por igual al estudio bíblico y religioso y a la búsqueda de la verdad científica. Hasta el final de sus días, Newton estuvo convencido de que era su trabajo religioso el que estaba destinado a perdurar. Por una vez, los hechos alcanzan las mismas cotas de disparate que la psicología.

Cuando Newton tenía 10 años, el reverendo Barnabas Smith murió, y la madre de Isaac volvió a su casa convertida en una mujer relativamente rica. Las plegarias de Newton habían sido escuchadas. A estos hechos siguieron dos años de extraña felicidad, templada por la realidad llena de sentido común de su madre y la presencia adicional de un hermanastro y dos hermanastras. Pero Isaac era el mayor, y al parecer Hannah dependía de él hasta cierto punto. Antes incluso de alcanzar la pubertad, Isaac era «el hombre de la familia» a los ojos de su madre. La elemental confianza en sí mismo engendrada por este precoz reconocimiento materno no habría de abandonarle jamás en sus cruzadas intelectuales, incluso en los momentos en que se hallaba sitiado por enloquecedoras ansiedades.

Cuando tenía 12 años, Newton comenzó a asistir a la escuela secundaria de Grantham, que se encontraba a diez millas de distancia. Se alojaba en casa de Mr. Clark, el boticario, en High Street, al lado de George Inn. En la escuela, sus estudios consistieron casi exclusivamente en latín y griego. Las matemáticas apenas tenían presencia en el programa educativo de la época, que seguía siendo básicamente medieval. Aquel niño

sensible y calmado no sentía el menor atisbo de interés por tales estudios, y fue relegado a los últimos puestos de la clase.

Según su propia opinión, Newton permaneció intelectualmente aletargado hasta el día en que el matón de la escuela le golpeó en el estómago. Newton le desafió a una pelea en el patio de la iglesia. En palabras de Conduitt, su primer biógrafo, que transcribió los recuerdos del mismo Newton: «Isaac no era tan fuerte como su antagonista [pero] poseía un carácter y una resolución tan superiores que le vapuleó hasta que el otro declaró que no quería pelear más». Newton había encontrado un blanco legítimo sobre el que descargar la increíble ira que reprimía en su interior. Pero una vez que esto se desató fue imposible volver a controlarlo, y ya no hubo forma de pararle los pies. Darle una paliza a un oponente físicamente superior no era suficiente. Tras su victoria «Isaac le cogió por las orejas, le obligó a acercar la cara al muro lateral de la iglesia y le restregó la nariz contra la pared». Pero ni siquiera tamaña humillación física bastó. Newton tenía que vencer a su oponente en todos los campos posibles. Sintió la necesidad de superar a su oponente intelectualmente, comenzó a esforzarse en clase, y no tardó en demostrar su superioridad intelectual.

Es así como lo recuerda Newton, y no hay duda de que sucedió algo muy parecido. Semejantes estallidos de rabia y rencor serían una constante durante toda su vida: este arrebato no hizo más que sentar las bases de los siguientes.

Una vez que las facultades intelectuales de Newton hicieron su aparición, ya no hubo quien le parase. Ver al adolescente tontorrón emerger de su crisálida y desplegar las alas de la genialidad debió de ser todo un espectáculo para los habitantes de Grantham. Y, por supuesto, todo el mundo lo recuerda. Mediante percepción retrospectiva, claro. Según los recuerdos recogidos tras la muerte del magnífico sir Isaac Newton, presidente de la Royal Society, director de la Royal Mint (Real Fábrica de Moneda), etc., el joven Isaac mostraba todos los signos característicos del genio supremo y desconcertaba a las gentes del lugar con maquetas de molinos de viento de intrincada construcción, relojes de agua hechos a mano, cometas explosivas, un molinillo para moler grano accionado por ratones, una linterna de papel plegable, su habilidad para precisar la hora que era valiéndose únicamente de la sombra, e incluso un cuaderno abarrotado de los usuales diagramas ininteligibles. Afortunadamente, este cuaderno se encuentra en la actualidad en la Biblioteca Pierpont Morgan, en Nueva York; una inscripción en su interior aclara que fue comprado originalmente por Newton en 1659 por dos peniques y medio antiguos. Su contenido confirma los aparentemente fantasiosos recuerdos de la gente de Grantham, con páginas que contienen diagramas del sistema solar de Copérnico, detalles sobre la manera de hacer un reloj de sol o construir una maqueta de un molino de viento, y predicciones astronómicas de eclipses. Dos cosas son obvias: los intereses intelectuales de Newton habían superado con creces los límites de su educación escolar y estaba principalmente interesado por la ciencia, y por el mecanismo de las cosas.

Todo parece indicar que se trataba de un principiante precoz y brillante y, en gran medida, autodidacto. Un caso inusual, pero no único. Debió de haber existido una veintena o más de prodigios similares por aquellas tierras. Como la gran mayoría de los

otros, Newton parecía destinado a una vida provinciana de mediocridad excéntrica. En el mismo año en el que compró su barato cuaderno, su madre lo llamó a casa para que se hiciese cargo de la granja. Solo tenía 17 años. Pero esta vez no todo era miel sobre hojuelas en su casa. La mente de Newton ardía ahora con algo más absorbente que meras fantasías pirómanas (si bien la idea podía parecer igual de desequilibrada). Las explicaciones psicológicas de la obsesión abrasadora de Newton son numerosas: desde la necesidad de descubrir las claves del padre, hasta una necesidad demente de fugarse a un mundo ordenado, libre de ansiedad física. Esta multiplicidad de explicaciones compleja y a menudo contradictoria es bastante útil, aunque solo sea como recordatorio de la naturaleza compleja y a menudo contradictoria de la entidad única que trata de describir: la mente de Newton. Hay algo que es indiscutiblemente cierto: este interés avasallador por la ciencia hizo presa en la mente adolescente de Newton igual que una adicción, y su fuerza se mantendría, prácticamente inagotable, durante *37 años*.

Como granjero, el Newton de 17 años era más que inútil. Si se le ponía a cuidar ovejas, se acomodaba a la sombra de un árbol con un libro. Cuando acudía al mercado de Grantham, dejaba al peón a cargo de la venta de la producción y del ganado mientras él corría a casa de su antiguo anfitrión, Mr. Clark, a por unos cuantos libros más (uno de los parientes de Mr. Clark había dejado su colección de libros en el desván). Las ovejas se desperdigaban por las colinas, los cerdos tomaban al asalto los campos sembrados de cereales del vecino, y las vallas que delimitaban la granja se deterioraban hasta caer en la ilegalidad. Como consecuencia de esto, Newton fue llevado a los tribunales y se le impuso una multa de cuatro chelines y cuatro peniques (es decir, el valor de un buen par de zapatos). El primer título oficial de Newton fueron unos antecedentes penales.

Su madre no sabía qué hacer, y la situación doméstica era tensa. En una «lista de pecados» que Newton redactó unos años más tarde, este periodo incluye «malhumor con mi madre», «enfado con los sirvientes», «rehusar ir a la calle cuando mi madre me lo había ordenado» y «pegarle un puñetazo a mi hermana». Como muchos adolescentes, sabía lo que no quería hacer, pero, al contrario que la mayoría de ellos, tenía una idea precisa de lo que quería hacer. Newton continuó leyendo ávidamente, haciendo maquetas, llevando a cabo experimentos científicos, calculando y bosquejando diagramas en su cuaderno.

Afortunadamente, dos personas habían vislumbrado el excepcional talento de Newton. Una de ellas era John Stokes, su maestro de escuela de Grantham; la otra era su tío materno, William Ayscough, párroco de la cercana aldea de Burton Coggles, que se había graduado en el Trinity College, en Cambridge. Entre los dos consiguieron persuadir a la madre de Newton de que lo enviase de nuevo a la escuela de Grantham, donde Stokes podría prepararle para ingresar en el Trinity College de Cambridge.

Newton se fue otra vez a vivir con Mr. Clark el boticario, donde continuó devorando la colección de libros y comenzó además a decorar su habitación con todo tipo de dibujos. Según la hijastra de Mr. Clark, en este periodo estuvo además ligado a ella sentimentalmente. Ella era varios años más joven que él, y da la impresión de que el idilio fue producto, casi por completo, de la imaginación de la chica. Esta es la única

ocasión en la vida de Newton en la que su nombre se ve relacionado románticamente con una mujer.

Newton partió hacia Cambridge en junio de 1661, donde ingresó en el Trinity College. Según un historiador contemporáneo, en aquella época el Trinity College era «la facultad más impresionante y uniforme de la cristiandad». Su valor académico empezaba a igualar a su apariencia, a pesar de que seguía considerándose que Cambridge se hallaba retrasada en comparación con las grandes universidades de Europa, tales como la Sorbona o la Universidad de Milán. Inglaterra no solo había sufrido una revolución política, sino que además se hallaba en medio de otra intelectual que todavía no había llegado a ser superada en Europa (en muchos sitios ni siquiera había sido reconocida). Todo esto culminaría en la obra de Newton, sin olvidar a luminarias de menor categoría tales como William Harvey (cuyo descubrimiento de la circulación de la sangre supuso el nacimiento de la medicina moderna), Edmond Halley (el gran astrónomo que da nombre al famoso cometa), Thomas Hobbes (considerado como el teórico político más perspicaz de su época), John Locke (cuyo empirismo cambió el curso de la filosofía, y cuyas ideas sociales constituirían la base de la Constitución de los Estados Unidos) y Robert Boyle (el químico pionero).

Cuando llegó a Cambridge, Newton tenía 18 años, es decir, era dos años mayor que el estudiante medio. También era mucho más pobre que el estudiante medio, y fue admitido en calidad de becario, lo que suponía, más o menos, que hiciese las veces de mayordomo de su tutor. Afortunadamente, su tutor no se dignaba residir allí más de cinco semanas al año, así que Newton podía disponer de casi todo su tiempo.

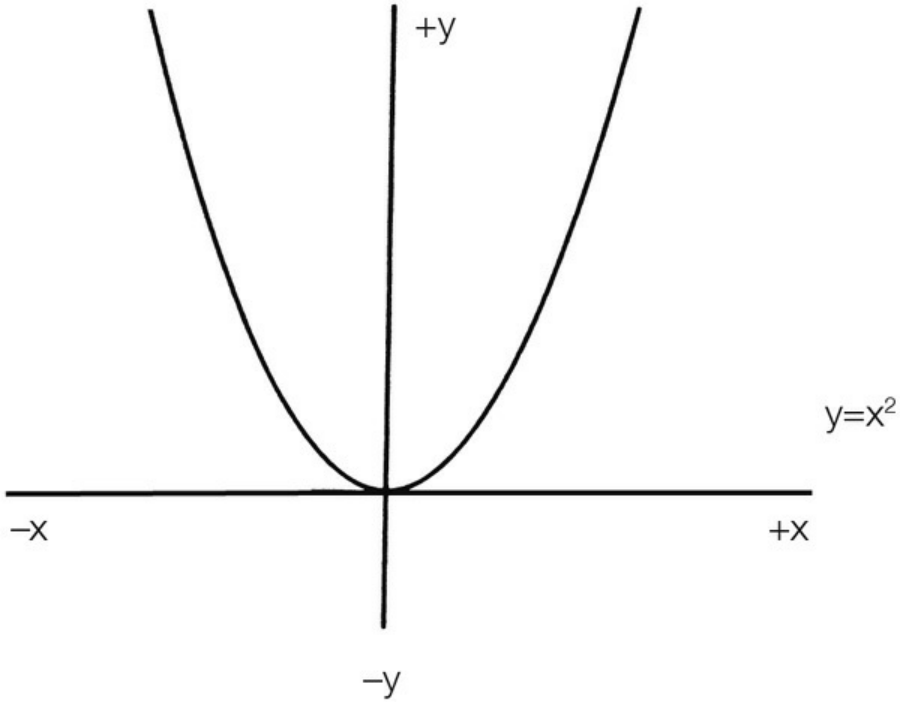
En aquellos tiempos no había demasiadas distracciones en Cambridge. Según un viajero alemán que estuvo allí de visita, aparte de la universidad en sí misma, Cambridge «no era mucho más que una aldea… uno de los sitios más tristes del mundo». Las tabernas de la aldea estaban llenas de rameras medio bebidas y de jóvenes aldeanos juerguistas (estos eran compañeros de estudio de Newton, de los cuales menos de un tercio se molestaba en licenciarse). Un año antes de la llegada de Newton a Cambridge, Carlos II había subido al trono. Tras los excesos puritanos de la Commonwealth, los excesos, algo más terrenales, de la era de la Restauración ganaban terreno con rapidez. Sin embargo, el puritanismo de Newton no dependía en absoluto del clima político. Entre sesiones maratonianas de estudio, que con frecuencia se extendían hasta la madrugada, a Newton le daba por sentarse en sus habitaciones a hacer listas de sus pecados, entre las que nunca incluyó ni juergas ni rameras.

A pesar de la cada vez más evidente revolución intelectual que estaba teniendo lugar en Inglaterra, la mayor parte de la educación que se impartía en las universidades inglesas estaba firmemente anclada en el aristotelismo característico de la era medieval. La Tierra seguía fija en el centro del universo, que estaba formado por tierra, aire, fuego y agua. Estos «elementos» se reflejaban en nuestros cuatro «humores»: sangre, flema, bilis amarilla y bilis negra, cuyo «equilibrio» gobernaba nuestra salud. Y así sucesivamente… Un mundo de inexpugnable coherencia, cuya insuficiencia se iba haciendo poco a poco evidente.

Las primeras grietas importantes del edificio aristotélico habían comenzado a aparecer en Europa a principios del siglo XVII. El sacerdote polaco Nicolás Copérnico había sugerido un sistema solar heliocéntrico. Esto había llevado al astrónomo alemán Johannes Kepler, que trabajaba en Praga, a proponer unas leyes sobre el movimiento de los planetas alrededor del Sol, lo cual a su vez impulsó al físico italiano Galileo Galilei a desarrollar una nueva mecánica basándose en esto (antes de que la Iglesia católica le obligase a cambiar de opinión). Entretanto, la filosofía de la duda de Descartes había demostrado que el aristotelismo, sobre el que se basaba la educación científica impartida por la Iglesia, carecía de justificación analítica o perceptiva. Tales fueron los pioneros que propiciaron la revolución intelectual inglesa, y el estudiante Newton pronto se vería profundamente influido por estos descubrimientos.

Es igualmente importante el hecho de que Newton comenzara a instruirse en las nuevas matemáticas que servían de base a estos descubrimientos, y sobre las que a su vez debería basarse todo nuevo descubrimiento. En el siglo anterior, los avances en materia de astronomía y navegación habían evidenciado la necesidad de nuevos y más refinados métodos de cálculo y precisión. El resultado fue que las matemáticas emprendieron una revolución equiparable a los nuevos descubrimientos científicos. De entre las neblinas medievales comenzaban a surgir los rasgos principales de una estructura cada vez más precisa. En 1585, el funcionario flamenco Simon Stevin propuso el sistema decimal para medir cantidades inferiores a la unidad; y en los primeros años del siglo XVII el barón escocés John Napier inventó los logaritmos. Esta revolución matemática floreció en Francia más que en ninguna otra parte: fue en este país en el que tres de los más grandes matemáticos de todos los tiempos –Descartes, Fermat y Pascal– desarrollaron al máximo sus respectivas capacidades a mediados del siglo XVII.

Hasta que se graduó, Newton estudió y asimiló las lecciones de Descartes (no se sabe, sin embargo, a ciencia cierta hasta qué punto conoció la obra de Pascal o de Fermat). Descartes había inventado las coordenadas cartesianas, que tomaban de él el nombre: los tres ejes que permitían situar con precisión cualquier punto geométrico (o línea recta, o curva, o figura) en el espacio. Se incluyó asimismo el álgebra en la geometría, liberándola de la particularidad de la aritmética, y así nació la geometría analítica; ya podía representarse una curva por medio de una ecuación, tal y como se muestra en la figura de dos ejes siguiente:



Aún más significativo es el hecho de que las matemáticas de Descartes (así como su filosofía) veían al mundo como un enorme e intrincado mecanismo. Hasta entonces, el aristotelismo había contemplado el mundo en términos de calidad (tierra, aire, etc.), mientras que a partir de este momento empezó a observarse en términos de cantidad, cantidades estas susceptibles de ser medidas.

Newton empezó a hacer anotaciones en un cuaderno, que tituló «Algunas preguntas filosóficas» *(Quaestiones quaedam Philosophiae),* y que llevaba el siguiente encabezamiento: «La verdad es mi mejor amiga». En él podemos confirmar que había asimilado la proposición de Descartes que decía que toda realidad está formada por partículas de materia en movimiento, y que cualquier fenómeno natural surge de la interacción de estas partículas. El científico-filósofo francés Pierre Gassendi revivió la antigua noción griega de que estas partículas últimas eran átomos discretos indestructibles. Los cuadernos de Newton demuestran que también estaba al corriente de la evolución paralela de los experimentos del químico anglo-irlandés Robert Boyle, que comenzaban a sugerir la existencia de elementos químicos básicos.

Los descubrimientos de Boyle sentaron las bases para los trabajos futuros de Newton en el campo de la química, si bien se debe aclarar que el interés de Newton por esta ciencia no era excesivamente preclaro. En el siglo XVII la química acababa de comenzar a diferenciarse del galimatías que era la alquimia. Para satisfacer su interés por la química, Newton comenzó a leer por añadidura trabajos de alquimia, magia y tradición hermética. Estos libros pretendían dar una explicación a los fenómenos naturales en términos de jerga metafísica.

Sería bonito pensar que Newton leía todo esto únicamente para distraerse, a la vista del rigor extremo con que buscaba la exactitud en sus estudios matemáticos y científicos.

Pero nada de eso. Newton se tomaba muy en serio sus estudios de alquimia, los cuales solo eran equiparables a su estudio obsesivo de la Biblia. Es posible que aquí también estuviese buscando pistas acerca de la identidad del padre.

Estas dos maneras de contemplar el mundo –la física y la metafísica– podrían parecernos a nosotros, simples mortales, mutuamente excluyentes. Pero para Newton no lo eran. Lo que es más, las contradicciones existentes entre estos dos mundos parece ser que de alguna forma estimularon sus procesos mentales.

Sin embargo, no todos los descubrimientos de Newton eran bagatelas. Cuando llevaba tres años estudiando en Cambridge ya había hecho algunos descubrimientos matemáticos importantes. Había desarrollado el teorema del binomio para exponente fraccionario. Este teorema comprende la fórmula del desarrollo de la expresión binomial, es decir, una fórmula que contenga la suma de dos variables, tal como $(x+y)$, elevada a una potencia determinada n, lo cual se expresa $(x+y)^n$. Esto puede verse con un ejemplo muy simple:

$$(x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$$

Pero cuando n (el exponente) no es un número entero, el desarrollo se convierte en una serie infinita. He aquí un ejemplo con una variable simple:

$$(1 + x)^{1/2} = 1 + 1/2x – 1/8x^2 + 1/16x^3 + \ldots$$

y así hasta el infinito.

Newton elaboró una regla general para estos desarrollos. Como veremos más tarde, estos trabajos con series infinitas serían el primer paso de Newton hacia uno de los descubrimientos matemáticos más grandes de todos los tiempos: el cálculo diferencial.

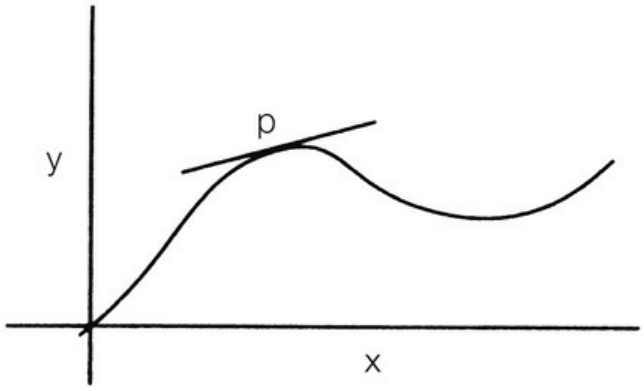
Newton obtuvo su BA (*Bachelor of Arts,* o licenciatura) en junio de 1665. El profesor Barrow, su examinador, se formó «una opinión indiferente» de sus habilidades: Newton ni siquiera había estudiado a Euclides a conciencia. De hecho, Newton había descuidado seriamente el programa de estudios. De lo que no se dio cuenta el profesor Barrow es de que Newton iba ya bastante por delante de Descartes, que a su vez superaba con creces a Euclides. Newton era autodidacto casi por completo, es decir, que trabajaba preferentemente solo, ayudado por los libros. Todos los trabajos que podían haber sorprendido de verdad estaban confinados en sus cuadernos, cuadernos estos que nadie más había visto. A pesar de las lagunas que presentaban sus conocimientos, se le permitió seguir estudiando con el fin de conseguir un MA (*Master of Arts,* o maestría). Evidentemente, los estudiantes que realmente estudiaban eran una rareza que debía preservarse.

Parece ser, pues, que Newton crecía completamente aislado, y los sucesos que siguieron aseguraron que esta situación no cambiase. A finales de 1664, dos marineros franceses fueron encontrados en los suburbios londinenses que rodeaban Drury Lane, víctimas moraltes de la peste bubónica. La enfermedad se extendió rápidamente por toda la ciudad (terminaría por causar más de 80.000 muertes solo en Londres), y siguió extendiéndose por todo el país a través de las rutas de las diligencias y de los caminos

seguidos por los vaqueros al conducir el ganado. Todo el que podía abandonaba los centros de población, y en agosto de 1665 la Universidad de Cambridge acabó cerrando sus puertas. Newton volvió a Woolsthorpe, donde permaneció durante aproximadamente un año.

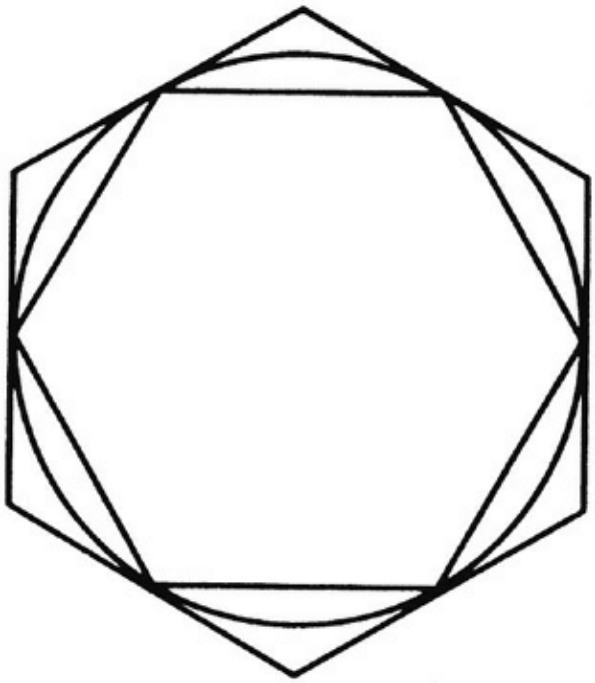
Esto desembocaría en un verdadero *annus mirabilis* sin parangón en la historia de la ciencia hasta nuestros días (solo equiparable a 1905, cuando Einstein sentó las bases de la teoría especial de la relatividad, planteó la hipótesis de que la luz estaba formada por cuantos, y proporcionó una explicación molecular al movimiento browniano).

El primer avance realmente importante de Newton fue el desarrollo del cálculo diferencial. La habilidad de representar una fórmula algebraica por medio de un gráfico significaba que algunos problemas de álgebra podían tener una solución geométrica. Por ejemplo, la variación de *x* respecto a *y* para cualesquiera valores dados (esto es, en cualquier punto determinado de una curva) no es otro que la tangente de la curva en ese punto.



La tangente en *p* es el índice de variación

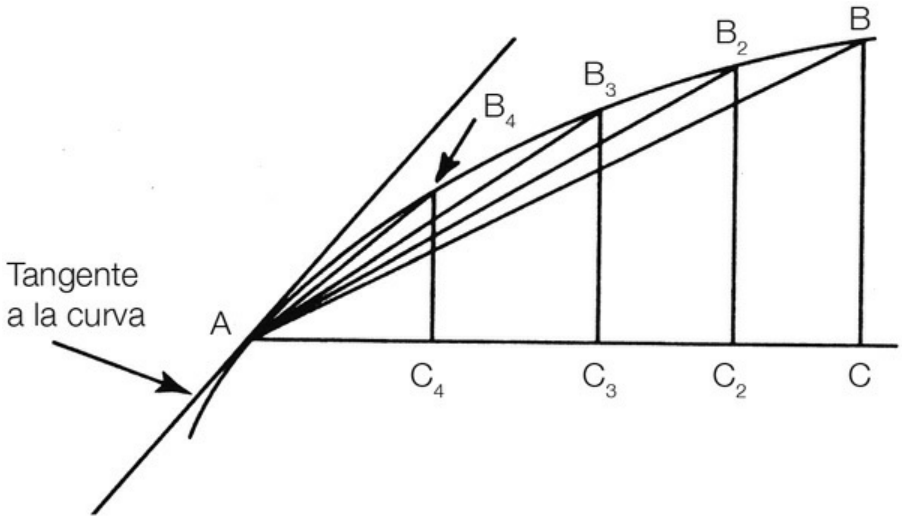
Es bastante fácil hallar la tangente de un círculo, o incluso de una curva regular, pero, ¿cómo hallar la tangente de una curva variable? Esta puede ser hallada mediante el cálculo diferencial. Las nociones básicas de cálculo diferencial fueron descubiertas por los antiguos griegos.



Con el fin de determinar el área de un círculo, Arquímedes inscribía en su interior un polígono equilátero, cuya área era capaz de calcular. Aumentando el número de lados, también aumentaba el área del polígono, aproximándose al área del círculo, que constituía su límite superior. De igual forma, encerrando el círculo en un polígono equilátero, podía aproximarse al límite inferior: la respuesta se encontraba entre estas dos cifras.

Sin embargo, si el número de lados de cualquiera de los polígonos se aumentaba hasta el infinito, esto también proporcionaría el área del círculo.

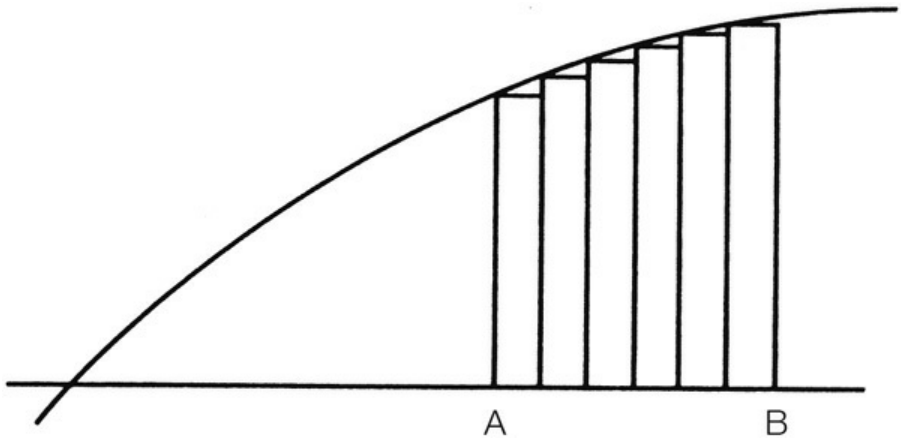
El mismo principio podía aplicarse a la tangente de una curva.



A medida que la distancia entre A y B se vuelve infinitamente pequeña, tendiendo hacia su límite, cero, el lado AB, opuesto al ángulo recto ACB, se aproxima cada vez más a la tangente, confundiéndose con ella en el límite.

El mismo principio puede aplicarse para calcular el área contenida por una curva.

A medida que se aumenta el número de rectángulos entre A y B hacia infinito, su área se aproxima al área contenida por la curva, que es su límite.



Una vez más, surgía un problema relacionado con series infinitas provenientes de funciones con dos variables –un problema del mismo tipo que el tratado por Newton en el teorema del binomio–. Para empezar, los cálculos implícitos en tales problemas eran considerados como sumas estáticas de cantidades infinitamente pequeñas. Lo realmente novedoso es que Newton, en un alarde de penetración, contempló este problema desde el punto de vista de la *movilidad* al no tratar la curva como si se tratase de un objeto estático, sino como el lugar geométrico de un *punto en movimiento*. En un principio, Newton llamó a este método suyo «fluxiones», con referencia a flujo, y no cálculo diferencial, como pasaría a llamarse más tarde. Así pues, su innovación consistió en introducir la noción de tiempo.

El método de Newton para hallar la tangente en un punto determinado de una curva es conocido en la actualidad como cálculo diferencial. Este trata la cantidad siempre variable de un *punto en movimiento* como si estuviese constituida por un número infinitamente grande de cambios infinitamente pequeños.

Por ejemplo, la velocidad (v) de un cuerpo en un instante determinado es vista como la distancia infinitamente corta que recorre (ds) en un periodo infinitamente corto de tiempo, que tiende a cero (dt).

De aquí que: $v = ds/dt$.

Ahora bien, al igual que $dt \rightarrow 0$ (es decir, su límite es cero), v alcanza el límite que constituye su velocidad exacta en el momento dado.

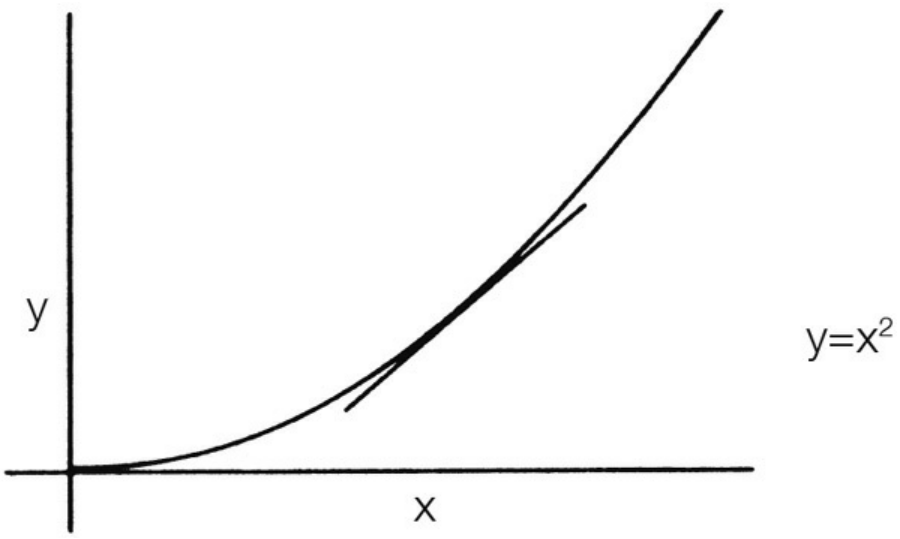
Afortunadamente, los cálculos larguísimos y muy complejos de Newton terminaban por proporcionar una fórmula empírica fácilmente aplicable, como la que utilizan todos

los matemáticos en ciernes que saben lo que hay que hacer, pero no tienen ni idea de lo que realmente están haciendo. («Limítese a aplicar la fórmula, jovencito».) Por ponerlo en los términos más simples posibles, para la fórmula:

$y = x^n$

la derivada $dy/dx = n\,x^{n-1}$

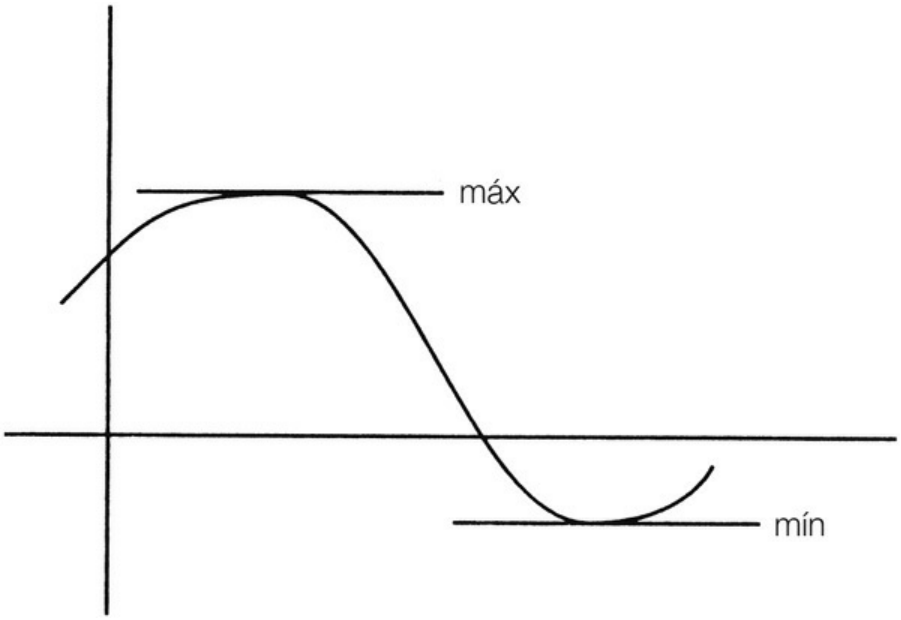
o sea, que si por ejemplo $n = 2$, la fórmula pasa a ser $y = x^2$



y la variación en *cualquier* punto, dy/dx, es igual a $2x^{2-1} = 2x$.

En otras palabras: el valor de la tangente en cualquier punto será siempre $2x$.

Este proceso de cálculo diferencial proporcionó a las matemáticas una de sus herramientas más poderosas al permitir el cálculo de cualquier índice de variación incluyendo, por ejemplo, los puntos máximo y mínimo de cualquier curva, que se dan cuando el índice de variación, dy/dx, es igual a cero.



A continuación, Newton extendió su método de fluxiones, incluyendo lo que hoy en día se conoce como cálculo integral. Este es en esencia la técnica del cálculo diferencial a la inversa, y se utiliza para calcular el área contenida por una curva.

Por ejemplo, la velocidad de un punto (v) puede expresarse en términos de una distancia infinitamente corta ds recorrida en el breve periodo dt. Con lo que:

$$ds = v\,dt$$

La distancia s que el punto recorre entre un momento t_1 y un momento t_2 se calcula por medio de la suma continua de los cambios que se producen en este intervalo, lo cual se conoce como integración.

Esto se expresa de la siguiente manera:

$$s = \int_{t_2}^{t_1} v dt \left(\int \text{es el signo utilizado para la integración} \right)$$

Muy simplificado, esto implica aplicar la técnica opuesta a la derivación. Así que para la misma fórmula

$$y = x^n$$

En vez de $dy/dx = n\,x^{n-1}$,

por medio de la integración obtenemos $\int_{t_2}^{t_1} x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$

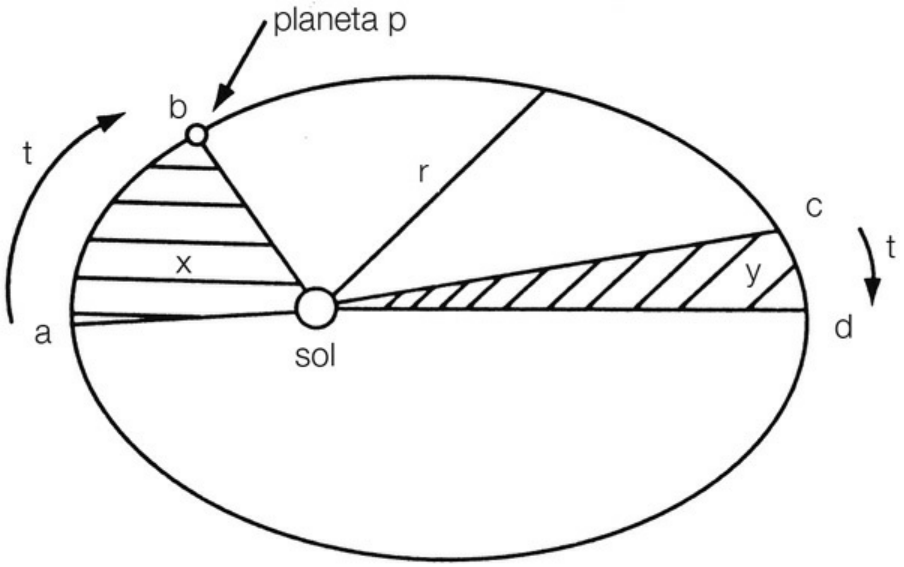
Esta técnica increíblemente útil puede aplicarse para resolver problemas tales como hallar el área de cualquier figura descrita por una curva con fórmula (y rotando sobre su eje produce un volumen). También puede aplicarse a cualquier problema que requiera la suma continua de cambios infinitesimales.

En este punto, el cálculo de Newton seguía en estado embrionario. Pero con todo y con eso, ya estaba en posesión de la técnica que le permitiría emprender su trabajo más importante. El trascendental logro de Newton en los años 1665 y 1666 estaba por supuesto relacionado con la gravedad.

Posteriormente se le preguntó a Newton cómo llegó a hacer descubrimientos tan revolucionarios, a lo cual respondió: «Pensando en ellos sin cesar. Pienso en el tema constantemente, y me limito a esperar a que los primeros atisbos de luz del alba den paso al día». Según la famosa anécdota, los «primeros atisbos de luz» de su teoría de la gravedad le llegaron a Newton cuando contemplaba cómo una manzana caía de un árbol. Este hecho suele calificarse de pura leyenda. Pero según uno de los primeros biógrafos de Newton, Stukely: «me contó […] que la noción de gravedad le vino a la mente […] a causa de la caída de una manzana, mientras descansaba en actitud contemplativa».

Es importante entender cuán significativo fue lo que Newton comprendió en ese momento. ¿Qué era lo que sabía ya, y qué explicaría su posterior teoría de la gravedad?

La clave de todo esto está en Kepler, que había invertido más de 20 años de minuciosa observación y realizado cálculos interminables para llegar a sus tres leyes sobre el movimiento de los planetas. Estas leyes fueron publicadas en 1609 y establecían que: 1) los planetas se mueven formando elipses alrededor del sol, el cual está situado en uno de los focos de estas órbitas elípticas; 2) una línea recta que uniese el sol con un planeta recorrería áreas equivalentes en tiempos equivalentes (en el diagrama siguiente: el tiempo que le lleva a un planeta *p* viajar de *a* a *b* es igual al que le lleva viajar de *c* a *d,* siendo el área *x* igual al área *y*); 3) el cuadrado del tiempo empleado por un planeta en recorrer su órbita por completo es proporcional al cubo de la distancia media entre este planeta y el sol (en el diagrama: si el planeta *p* invierte un tiempo *T* en completar su órbita, y *r* es el radio medio de esta órbita, sucede que: $T^2 = r^3$).



T = tiempo invertido en completar una órbita

Mientras tanto, y ya en la Tierra, Galileo había confirmado a base de experimentos, que se dice fueron llevados a cabo desde lo alto de la Torre inclinada de Pisa, que un cuerpo al caer experimentaba una aceleración uniforme. También elaboró una fórmula para calcular la trayectoria parabólica de un proyectil.

La genialidad de Newton consistió en meter las leyes de Kepler y los descubrimientos de Galileo en el mismo saco. La noción de gravedad que le vino a la cabeza cuando la manzana cayó del árbol terminaría por identificarse como la misma fuerza que mantenía a la Luna en órbita alrededor de la Tierra y a los planetas en órbita alrededor del Sol. Las leyes aplicables a la Tierra eran asimismo válidas para los cuerpos celestes. Era esta una intuición descomunal. De golpe, nuestro entendimiento pasaba de estar ligado a la Tierra a extenderse a lo largo y ancho del universo. Las leyes de Kepler no hacían más que describir lo que sucedía… Newton explicó por qué sucedía.

Newton tardaría más de 20 años en publicar sus ideas. Esto responde a varias razones. Al principio, consideraba que la gravedad se aplicaba únicamente a la Tierra. Posteriormente, al extenderla a los cuerpos extraterrestres, no fue del todo capaz de desarrollar la matemática inherente a ello. ¿Cómo funcionaba en realidad la fuerza gravitatoria de la Tierra? ¿Esta atraía a la Luna desde su núcleo, desde su superficie, o desde algún punto situado entre ambas? Hasta que refinó las técnicas del cálculo que acababa de descubrir, Newton fue incapaz de empezar a solucionar semejantes problemas. No fue esta, sin embargo, la única razón por la que guardó silencio.

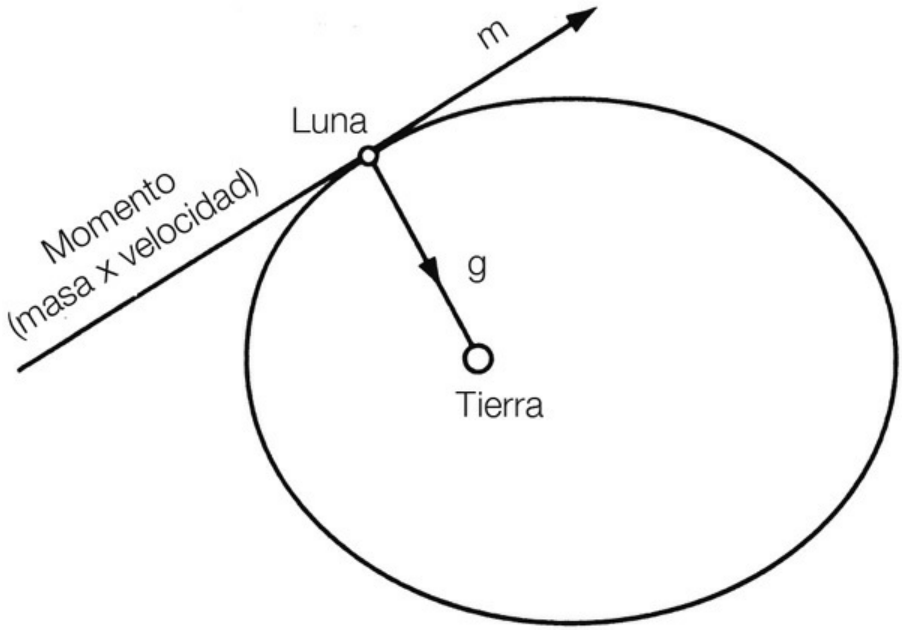
Algunos han calificado a Newton de secretista, pero ello no es completamente cierto. La verdad es que Newton no podía soportar que le contradijesen, ni siquiera en lo más mínimo; era algo capaz de provocarle uno de sus ataques de rabia incontrolables. Así que, antes de arriesgarse a que sus colegas científicos pusieran en duda sus descubrimientos, prefería guardárselos para sí mismo.

Ni que decir tiene que semejante interpretación psicológica únicamente trata de

explicar la personalidad de Newton, que podría compararse a un mapa del mundo: en él aparecen los contornos y las figuras, pero de ningún modo evidencia la magnificencia y la profusión que se dan en la realidad. La esencia de la mente de Newton sigue siendo completamente inexplicable.

Durante los 20 años que precedieron a la publicación de los descubrimientos de Newton sobre la gravedad, su visión inicial se refinó hasta convertirse en un sistema complejo. Sería este el que finalmente aparecería en su obra maestra, los *Principia.* En ella, Newton fue un paso más allá que Kepler y Galileo, presentando tres leyes propias que reemplazaban los descubrimientos de ambos.

La primera ley de la dinámica formulada por Newton postula una teoría sobre la inercia, declarando que un cuerpo permanece en reposo o en estado de movimiento rectilíneo uniforme siempre y cuando no actúe sobre él ninguna fuerza exterior. Los objetos se mueven a través del espacio debido a que nada los para una vez que han sido puestos inicialmente en movimiento. Por primera vez, se daba una explicación al movimiento de los cuerpos a través del espacio sin recurrir a juegos de malabares divinos ni a una locomoción angelical. Sin embargo, habría que esperar tres siglos hasta que la teoría del Big Bang explicase el origen de esta puesta en marcha inicial. La segunda ley de Newton declara que la variación de la cantidad de movimiento (o momento, es decir, el producto de la masa por la velocidad) de un cuerpo en movimiento es proporcional a la fuerza que actúa sobre el mismo. Es decir, que un cuerpo estacionario o en movimiento uniforme sobre el que se aplique una fuerza continua experimentará una aceleración. Galileo ya había descubierto esto al dejar caer objetos desde la Torre de Pisa. La atracción de la gravedad hace que un cuerpo se acelere. Lo mismo ocurre cuando la Luna orbita alrededor de la Tierra.



La acción continua de la fuerza de la gravedad (*g*) induce a la Luna a acelerar en dirección a la Tierra, pero la cantidad de movimiento de la Luna (es decir, el producto de su masa por su velocidad, o momento) la impulsa a lo largo de la línea de fuerza *m*. El equilibrio continuo de fuerzas resultante es lo que la mantiene en órbita. Para descubrir cómo operaba la fuerza de la gravedad en este caso, Newton tuvo que calcular la variación de la cantidad de movimiento de la Luna. Ya que la órbita lunar es una elipse irregular, esto implicaba calcular la velocidad de un objeto con un movimiento curvilíneo. Fue en los primeros intentos de resolver este problema cuando Newton empleó sus recientemente descubiertas «fluxiones», y a lo largo del proceso desarrolló el cálculo diferencial.

La tercera ley de la dinámica de Newton afirma que si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro (acción), el segundo ejercerá a su vez otra fuerza, igual y opuesta a la primera, denominada reacción. El concepto de fuerza utilizado por Newton en estas leyes transformaría la ciencia por completo. Unificaba la reciente visión mecánica del mundo de Descartes con la antigua tradición pitagórica, que afirmaba que el mundo en su estado último estaba compuesto por números. Esta combinación entre mecánica y matemáticas no solo explicaba la forma en que funcionaba el mundo, sino que también implicaba que podía calcularse con precisión lo que estaba ocurriendo en él.

Utilizando estas tres leyes fundamentales, Newton consiguió al fin explicar la forma en que la fuerza de la gravedad actuaba entre dos cuerpos. Demostró que esta fuerza era directamente proporcional al producto de sus dos masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Esto se expresa en la célebre fórmula (que fue la $E = mc^2$ de su tiempo):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

En donde *F* es la fuerza de atracción de la gravedad, m_1 y m_2 son las masas de la Tierra y de la Luna, *d* es la distancia que las separa y *G* es la constante de gravitación universal. Lo que le puso sobre la pista de esta fórmula fue la posibilidad de la relación del cuadrado inverso, y esta pudo muy bien ser la comprensión original provocada por la manzana al caer. Newton no comprendió toda la noción de gravedad de golpe; pero fue esto lo que le indujo a emprender un largo y complejo viaje matemático que terminó con su ley de la gravitación. Incluso habiendo llegado hasta aquí, tendría que pasar un siglo antes de que el excéntrico físico Cavendish se las arreglase para determinar el valor de *G,* la constante de gravitación. Sin embargo, el que la fórmula estuviese incompleta no impidió que Newton reclamara toda la atención posible para su fórmula. Estipulaba que la ley de gravitación se aplicaba a todo el Universo. Esto no dejaba de ser una hipótesis, por supuesto: los cálculos de Newton estaban enteramente basados en la observación de la Luna y de los planetas ya descubiertos. Pero Newton no admitió objeción alguna,

haciendo la famosa declaración: *«Hypotheses non fingo»* («yo no hago hipótesis»).

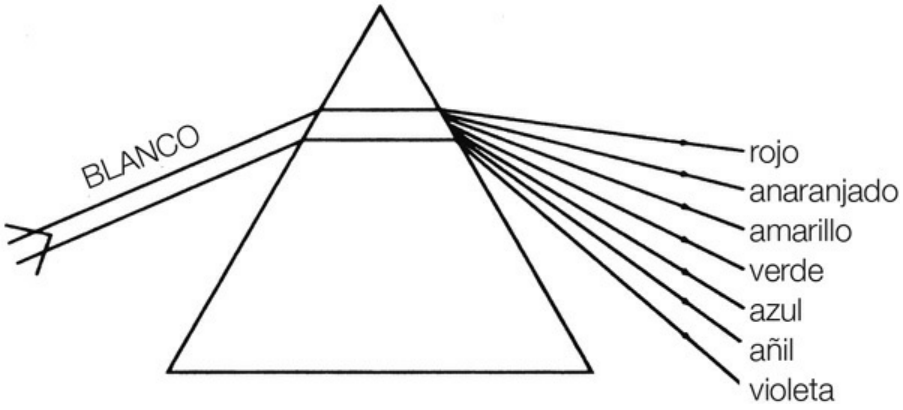
Para nosotros es difícil calibrar la fragilidad de la pretensión de Newton respecto a su fórmula, que él insistió en denominar ley de la gravitación *universal;* lo que constituye una de las revelaciones humanas más grandes de todos los tiempos no era en realidad más que un presentimiento, una hipótesis de genio trascendental. El matemático y filósofo del siglo XX Whitehead proporcionó un correctivo muy útil tanto para Newton como para nosotros mismos: «El deseo patético de la humanidad de creer que partimos de una base intelectual clara, determinada y certera, queda perfectamente ejemplificada por el alarde de Newton al declarar *"hypotheses non fingo"* al tiempo que enunciaba su ley de la gravitación universal. Esta ley postula que cada partícula de materia atrae a toda otra partícula de materia, si bien en el momento en que fue enunciada únicamente los planetas y los cuerpos celestes habían sido observados atrayendo "partículas de materia"».

Escasa evidencia científica debía de haber en la pretensión de universalidad de Newton, si bien explicaba muchos hechos observados y otras tantas excentricidades del movimiento planetario. Lo que es mucho más interesante: explicaba las leyes de Kepler, así como las irregularidades observadas en la órbita de la Luna y los planetas (las cuales se daban cuando los planetas se veían afectados por la atracción gravitacional de otros planetas, además de la del Sol).

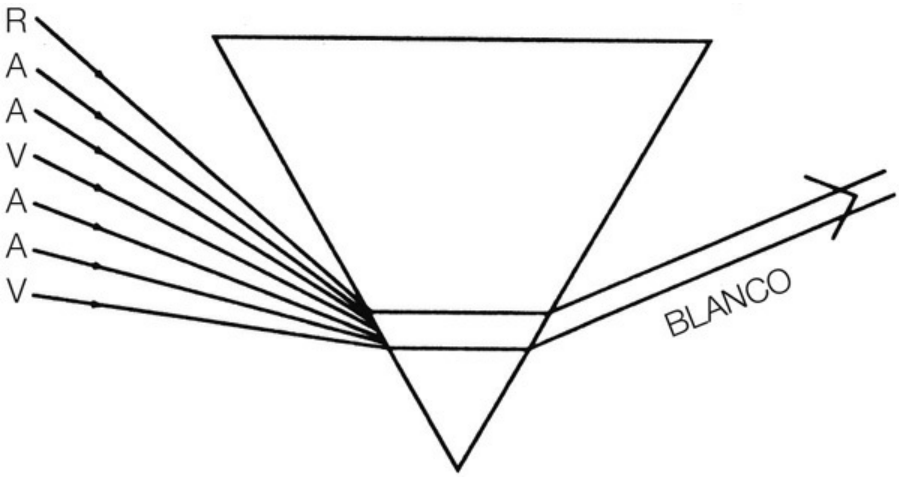
La atrevida suposición de Newton lo cambió todo. De ahora en adelante, los científicos estaban convencidos de que todo lo que sucediese en el universo podía explicarse de forma matemática. Esta sigue siendo una de las grandes creencias de la ciencia moderna. Es más, es una de las bases sobre la que se sustenta la búsqueda de la Teoría del Todo que explicará el funcionamiento fundamental del universo y de todo lo que este contiene.

El tercer hallazgo fundamental de Newton durante su *annus mirabilis* en Woolsthorpe tenía que ver con la luz. Hasta entonces se había creído que el color era consecuencia de una mezcla entre luz y oscuridad. Newton se dio cuenta de que no había evidencia experimental alguna que apoyase este principio. Una página impresa de un libro, que contenía tanto blanco como negro, no se veía en color al ser observada desde una distancia suficiente para que ambos se confundiesen. Se veía gris.

Newton llevó a cabo una serie de experimentos caseros con un prisma de cristal en su habitación convenientemente oscurecida. Cuando dejaba pasar algo de la luz del día entre las cortinas, de manera que un rayo de luz blanca atravesase el prisma, este se refractaba (se desviaba por acción del cristal). Pero partes diferentes del rayo se veían refractadas en diferente medida, y el rayo emergía dividido en colores. Estos colores eran los mismos que los del arco iris, y aparecían en idéntico orden: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta.



¿Era posible que estos colores tuviesen su origen en el cristal transparente del prisma? A continuación, Newton hizo pasar el rayo irisado a través de un prisma vuelto del revés. Los rayos de luz coloreada reconvergían y emergían de nuevo como un único rayo de luz blanca.



El siguiente experimento de Newton consistió en aislar un solo rayo de luz coloreada y hacerlo pasar a través de un prisma. A pesar de que se refractaba, el rayo emergía del mismo color. La inferencia era obvia: la luz blanca está formada por la combinación de los colores del espectro.

Cuando Newton volvió a Cambridge, las demostraciones que efectuó de este experimento causaron un revuelo importante, y se le incluyó en el consejo del Trinity College. Pero seguía siendo reacio a revelar sus otros descubrimientos. El cálculo diferencial y sus ideas sobre la gravedad estaban todavía en sus primeras etapas, y no deseaba someterlos a discusión (alguien podía tener la osadía de contradecirle). Pero hizo una excepción con su antiguo tutor Barrow, el catedrático de matemáticas (esta cátedra acababa de crearse: una de las primeras indicaciones de que Cambridge

empezaba a distinguirse de la tradición clásica, librándose del yugo del difunto aristotelismo. Hasta su jubilación en 2009 esta cátedra la ocupaba Stephen Hawking, el celebérrimo autor de *Historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros*).

Barrow era un hombre excepcional, y opuesto a Newton en muchos aspectos. No se acercaba en absoluto al estereotipo de matemático; era un hombre afable que gozaba de una excelente forma física, al que le gustaba boxear y que había viajado hasta Constantinopla (donde había ganado un concurso de lucha libre). Pero Barrow tenía dos características que eran del agrado de Newton: era un hombre profundamente religioso, y un estupendo matemático. Lo que es más, el conocimiento de Barrow de los últimos avances matemáticos indudablemente ayudaron a Newton en su desarrollo del cálculo diferencial.

A diferencia de otros jóvenes en semejantes circunstancias, Newton no se sentía atraído por figuras paternales (el padre estaba en el cielo). Cabe hacer una excepción en el caso de Isaac Barrow (cuyo nombre incluso rememoraba el del padre de Newton). Por una vez, Newton había encontrado a alguien al que poder admirar. Al igual que Newton, Barrow trabajaba mucho y dormía muy poco. Además, seguro que Newton reconoció en la eterna distracción de Barrow su propio ensimismamiento, ya que, según un contemporáneo de Barrow, este era «en extremo negligente con su atuendo… como el mayor sabio con el que jamás me encontrase». Newton ofrecía un cuadro parecido: «era tremendamente descuidado, llevaba los tacones de los zapatos gastados, los calcetines arrugados, la sobrepelliza puesta, y el pelo apenas peinado». El profesor y su colega de 24 años debieron de haber hecho una pareja tremenda, entre tanto presuntuoso empelucado de la Restauración.

Por lo que parece, Barrow fue el único en todo Cambridge que se dio cuenta del alcance realmente excepcional de las cualidades de Newton. Por descontado que fuera de la universidad nadie había oído hablar de él, aunque, a pesar de ello, Newton ya había hecho descubrimientos que le situaban muy por delante de cualquier científico o matemático vivo del momento.

Se dice que Barrow trataba a Newton como a un hijo, haciéndole regalos de cumpleaños. A pesar de que apreciaba a Barrow, la actitud de Newton era algo más cautelosa. La temprana deserción de su madre le había vuelto profundamente ambivalente hacia las personas que conseguían penetrar su caparazón de indiferencia ausente.

En 1669 Barrow dimitió de su plaza de catedrático de matemáticas para seguir estudios teológicos y se aseguró de que Newton le reemplazaría en la cátedra. Para ello era necesario unirse al clero, pero Barrow intercedió por Newton y este no fue obligado a hacer los votos sagrados. Esto apunta a que Barrow estaba enterado, al menos en parte, de las otras investigaciones, no tan ortodoxas, en las que Newton ocupaba su tiempo.

Paralelamente a sus avances científicos, Newton había hecho asombrosos progresos en sus estudios bíblicos. Durante su lectura de las primeras versiones del Nuevo Testamento en sus lenguas originales, Newton llegó al convencimiento de que tales textos habían sido corrompidos en beneficio propio por comentaristas y traductores posteriores. La

noción de Trinidad (Padre, Hijo y Espíritu Santo), era un completo engaño, un concepto fraudulento introducido en la Cristiandad por un grupo de conspiradores liantes. Cristo no tenía nada de divino, y debía rezarse directamente a Dios Padre.

Tales creencias fueron declaradas heréticas por el Concilio de Nicea en el 325 d.C. Es de suponer que a las autoridades del Trinity no les habría hecho ninguna gracia que su colega tonteara con engaños teológicos, pero Newton no le dio a esto la menor importancia. No obstante, siguiendo su costumbre, confinó tales descubrimientos a sus cuadernos.

En este caso sí que había un elemento secretista en el comportamiento de Newton. La religión era algo que se tomaba pero que muy en serio en la Inglaterra del siglo XVII: la guerra civil, la persecución de los herejes, el temor al catolicismo, el desagrado por el puritanismo, y otros elementos, habían dado lugar a un peligroso cóctel de prejuicios. No tiene nada de extraordinario que Newton desarrollase un miedo paranoide a ser acusado de hereje, miedo que le acompañaría durante toda su vida. Pero su profunda fe en Dios, unida a una necesidad inconsciente de hablar con el Padre directamente, le impedían olvidarse del asunto. La atracción que Newton sentía por la verdad era tan fuerte en materia religiosa como lo era en materia científica: en esta ocasión también buscaba las claves de Dios.

Por si todo esto no fuese suficiente, Newton continuó además con sus investigaciones alquímicas en la más pura tradición hermética. El catedrático de matemáticas llegó hasta el punto de hacerse construir una caldera en el trozo de jardín que rodeaba sus habitaciones, con el fin de poder llevar a cabo experimentos de alquimia. Estas actividades pasaban presumiblemente por experimentos de química ante las autoridades de la Facultad, pero un solo vistazo a los cuadernos de Newton basta para darse cuenta de que lo que realmente estaba intentando era convertir metales viles en oro.

Paradójicamente, el más eminente científico de la época era a la vez el mayor hechicero de su tiempo. Tal y como señala John M. Keynes, el economista del siglo XX: Newton, lejos de ser un hombre moderno perteneciente a una nueva era científica, era en realidad el último de los grandes magos del Renacimiento, «el último niño prodigio, a quien los Reyes Magos deberían rendir un sincero y apropiado tributo».

¿De verdad que Newton malgastaba su tiempo (y su prodigioso talento) en semejantes disparates? Apelando al sentido común, Keynes se vio obligado a descalificar la alquimia de Newton, encontrándola «completamente desprovista de valor científico».

Lamentablemente la verdad era otra… a pesar de que es sumamente improbable que el próximo Einstein salga del círculo mágico, es innegable que la alquimia influyó decisivamente al perfilar las ideas científicas de Newton. Evidencia no falta, por desgracia. Tal y como hemos visto, unas décadas antes Descartes había ofrecido una explicación del mundo en términos puramente mecánicos. Pero a medida que avanzaba la revolución científica, algunos de los nuevos científicos británicos habían comenzado a sospechar que el funcionamiento del mundo era algo más complejo que el de la maquinaria de un reloj. Según Boyle (que también se dedicaba con avidez a la alquimia en la intimidad), la mecánica no era lo más apropiado para explicar una serie de

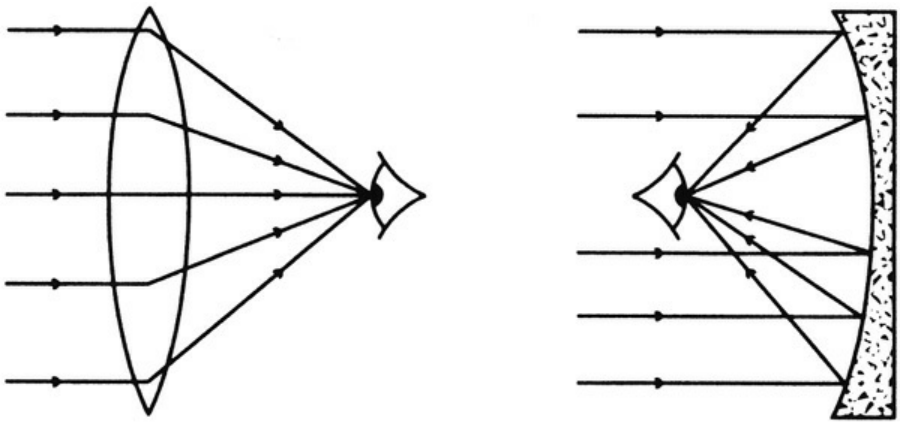
fenómenos naturales que se producían en los campos de la química y de la biología.

A Newton se le ocurrió la idea de que tales sucesos eran resultado de un principio activo, que complementaba a su vez al principio de inercia de la mecánica de Descartes. Este principio activo tenía su origen en «cualidades ocultas […] que no pueden ser descubiertas ni puestas de manifiesto». De ahí a la noción de «fuerza», idea de Newton que revolucionó la ciencia por completo, no había más que un paso. Nos puede resultar difícil de creer, pero el concepto revolucionario básico de las leyes de la dinámica de Newton tuvo su origen en la magia. Como señaló ese otro gran mago del Renacimiento, Leonardo: «Hay más en el mundo de lo que el hombre podrá llegar a comprender jamás».

Las actividades alquímicas de Newton también le fueron útiles en otros campos. Si bien era cierto que la alquimia no había producido ningún resultado demostrable (léase oro), también lo era que los métodos que en ella se utilizaban requerían un ingenio considerable; del cual se necesitaba bastante para montar los aparatos necesarios. De hecho, la entonces embrionaria ciencia química adoptó buena parte de los métodos de esta maestría experimental y, gracias a ello, empezó con un pie inmejorable. Newton ya había mostrado unas excepcionales dotes prácticas en Grantham, durante su juventud, si bien no encontró tantas ocasiones para poner en práctica este talento suyo en sus investigaciones científicas y matemáticas en Cambridge y en Woolsthorpe. Pero en lo referente a la alquimia, casi podía haberse ahorrado los complicados esfuerzos experimentales. Tal y como estaban las cosas, la alquimia refinó sus habilidades prácticas, lo cual le dio la confianza necesaria para ir en busca de soluciones prácticas. El ejemplo más conocido de esto es su telescopio.

Como ya hemos visto, cuando se hace pasar la luz a través de un prisma, se produce un espectro. Las lentes producen básicamente el mismo efecto, siendo susceptibles de crear imágenes con franjas de color. Este hecho comenzaba a mermar la efectividad de los telescopios de un tamaño cada vez mayor utilizados en astronomía (la «física nuclear» de los siglos XVI y XVII, que inauguró la nueva era científica). A finales del siglo XVII se construían telescopios de más de 56 metros de altura, pero las aumentadísimas imágenes que producían se veían cada vez más afectadas por interferencias coloreadas, conocidas como «aberraciones cromáticas». Parecía como si los telescopios hubiesen alcanzado su cima, cortando de raíz la posibilidad de efectuar futuros descubrimientos.

En un principio Newton intentó resolver este problema esmerilando lentes de diferentes formas, pero tal procedimiento no dio ningún resultado. Una vez más, puso toda su mente a trabajar en los problemas que tenía entre manos: «pensando en ellos sin cesar», día y noche, hasta que dio con la respuesta. La solución de Newton al problema del telescopio fue la típica «genialidad súbita», y su naturaleza tan simple y efectiva que transformó para siempre los telescopios: en vez de concentrar la imagen final mediante refracción a través de una lente, lo hizo mediante un espejo parabólico.



La reflexión eliminaba la «aberración cromática», ya que la luz no pasaba a través del cristal, sino que rebotaba sobre él. Este método tenía otra ventaja: al no pasar a través del cristal, este no absorbía nada de luz, lo que resultaba de vital importancia al observar los cuerpos lejanos más pequeños, como por ejemplo las lunas de Júpiter, que solo reflejaban pequeñas cantidades de luz. El método de Newton también permitió que los telescopios pudiesen ser mucho más pequeños. Su primer telescopio solo medía unos catorce centímetros de largo y aproximadamente dos centímetros y medio de diámetro, y a pesar de ello era de treinta aumentos. Newton fabricó este telescopio completamente solo, e incluso se construyó unas herramientas que le permitiesen fabricar ciertas piezas. Y hasta el día de hoy, los telescopios siguen utilizando reflectores paraboloides según el principio instaurado por Newton.

Como catedrático de matemáticas, Newton tenía que dar algunas clases cada trimestre. Tales clases eran preparadas e impartidas descuidadamente, ya que no era buen orador, y estaba mucho más interesado en hablar de las investigaciones que estaba realizando que de notas finales. Tras la claridad inicial y el revuelo producido por su demostración con el prisma, mostrando cómo la luz blanca estaba compuesta de colores, seguía un pesado cúmulo de especulaciones incomprensibles y de teoría. Al final, no era infrecuente que Newton terminase balbuciendo para sí en una clase vacía.

Pero todo esto cambió cuando fabricó su nuevo telescopio en 1668. Newton estaba tan sumamente orgulloso de su trabajo que por una vez fue incapaz de resistirse a mostrarlo en público. Empezó a correrse la voz por Cambridge, y el rumor pronto trascendió al mundo exterior. La Royal Society, en Londres, oyó hablar de este «increíble instrumento», y quiso verlo. Para entonces Newton estaba construyendo una segunda versión más grande, que medía unos veintiún centímetros de largo por cinco de diámetro. En 1671 Barrow se encargó de llevar, en nombre de Newton, este telescopio a Londres, donde causó tal sensación que incluso se lo enseñaron a Carlos II. De resultas de todo esto, Newton fue nombrado miembro de la Royal Society (que había sido fundada en 1660, y que era, a la sazón, la sociedad científica más importante de Europa). Por fin, Newton entraba en contacto con las mentes más brillantes de la revolución científica británica.

Animado por tal honor, Newton se dejó convencer para divulgar algunos de sus secretos y, en 1672, envió a la Royal Society un escrito sobre óptica, en el que describía su teoría de la luz y el color. En palabras del secretario de la Royal Society, tal documento «despertó a la vez una atención singular y una acogida inusual», a pesar de que algunos miembros disintieron. Entre estos últimos se encontraba el pendenciero físico Robert Hooke, uno de los pocos científicos con el calibre suficiente para contradecir a Newton. Hooke era un genial experimentador, pero rara vez lograba que sus ideas diesen frutos. Propuso una temprana (aunque mal desarrollada) teoría ondulatoria de la luz; anticipó una máquina de vapor, pero era lo menos práctico que imaginarse cabe; y sus observaciones pioneras al microscopio le llevaron a inventar el término «célula» (si bien no lo aplicó correctamente). Hooke también había llevado a cabo experimentos con la luz, utilizando prismas, de los cuales había concluido una teoría disparatada de las suyas. Hooke era uno de los mandamases de la Royal Society, y consideraba la óptica como su predio. Escribió una condescendiente crítica del escrito de Newton, desdeñando sus conclusiones. Se intercambiaron algunas cartas, y cuando Newton publicó un segundo escrito ampliando sus descubrimientos, Hooke le acusó de plagio.

Newton era psicológicamente incapaz de aceptar las críticas ni siquiera en sus mejores momentos. Como consecuencia de la acusación de Hooke, perdió el control de sí mismo y su rabia desató una furia que no conocería límites. Hooke se convirtió en su enemigo jurado, papel este que Hooke estaba desde luego encantado de asumir. Pero en el caso de Newton no se trataba de una rabieta pasajera. Le molestó tanto el incidente que sus trabajos se resintieron durante dos años. Dimitió de la Royal Society con acritud (un acto que pasó inadvertido, pues afortunadamente no se aceptó su renuncia) y juró que no volvería a publicar ningún otro trabajo científico.

Pero la controversia no había terminado. Newton comenzó a mantener correspondencia con unos jesuitas de Lieja que le pidieron que les aclarase su experimento original del prisma. Los experimentos que ellos habían llevado a cabo no producían los efectos que Newton declaraba. Esta correspondencia se mantendría durante algunos años, y los jesuitas terminaron por negar la veracidad de los resultados. Newton, a quien esta correspondencia ya había alterado bastante, acabó por confundir la estupidez con la conspiración. Su paroxismo llegó a tal punto que juró que abandonaría la ciencia: «Le diré adiós resueltamente para siempre», tras lo que sufrió una depresión nerviosa.

Mientras se recuperaba, Newton cumplió su palabra. Abandonó sus investigaciones científicas y se entregó de lleno a sus estudios herméticos y bíblicos. A saber: la noción de la Trinidad en su totalidad estaba amañada, y solo se veía apoyada por documentos del siglo IV falsificados por san Atanasio. Con ayuda de la estrella Régulo y del cobre podía obtenerse mágicamente el hermafrodita conocido como la red, que consistía en una semilla macho de Marte y el principio femenino de Venus. Y así todo. La biblioteca de Newton albergaba más de 140 libros solo sobre alquimia; según un biógrafo, a su muerte sus trabajos contenían «más de medio millón de palabras sobre alquimia carentes

de todo valor».

Entonces, en 1679, murió la madre de Newton. Le había abandonado definitivamente: estaba solo. Fue Freud el primero en darse cuenta de que las más grandes visiones intelectuales se producen después de que sus descubridores hayan sufrido una importante pérdida, y esta no iba a ser la excepción. Como resultado de sus nociones ocultas referentes a la atracción y a la repulsión, Newton había concebido la noción de fuerza. Pero hasta entonces solo había aplicado esta noción a fenómenos terrestres. Fue entonces cuando recibió una carta de Hooke ofreciéndole allanar sus diferencias. Hooke puso a Newton al corriente de su análisis del movimiento de los planetas, incluyendo su idea de que existía una atracción central que mantenía a los planetas en órbita elíptica. Hooke había supuesto que esto obedecía con toda probabilidad a una ley de cuadrado inverso, ajeno al hecho de que Newton había elaborado la base matemática de una ley de cuadrado inverso con una década o más de antelación.

Newton se negó a mantener una larga correspondencia con Hooke, si bien más tarde admitiría que la carta de este le condujo a apresurarse en crear su propia ley de cuadrado inverso –cuya matemática se apoyaba sólidamente en la tercera ley de Kepler– para aplicarla a las órbitas elípticas de los planetas. Este hecho, a su vez, provocaría una de sus mayores ideas interiores: su noción de fuerza –hasta entonces solo aplicada a los fenómenos terrestres– podía aplicarse también a la mecánica orbital.

Newton se hallaba ahora a punto de vislumbrar el concepto de gravitación universal. No obstante, tendrían que pasar cinco años para que cayera la breva. Lo cual fue una vez más propiciado por Hooke, su bestia negra.

En 1684, el odioso Hooke se jactó ante Halley de que el movimiento planetario carecía ya de interrogantes. Él en persona había desarrollado una ley de cuadrado inverso que regía la dinámica de los cuerpos celestes. A Halley no le convenció demasiado la explicación de Hooke, la cual carecía casi por completo de base matemática.

Halley decidió consultar a Newton, el cual le comunicó que algunos años antes él ya había desarrollado una teoría sobre la dinámica celeste y todos los cálculos que la respaldaban. Halley logró convencer a Newton de que le enviase un informe con un resumen de sus descubrimientos. Newton empezó a escribir de mala gana un artículo titulado «Sobre la dinámica de los cuerpos celestes en órbita» *(De motu corporum in gyrum),* que Halley recibiría siete meses más tarde.

Halley quedó tan impresionado por este artículo que, una vez más, se desplazó hasta Cambridge, donde descubrió que Newton poseía una ingente cantidad de artículos inéditos. El padre de Halley había sido asesinado hacía poco, dejándole una fortuna. Halley dejó caer que estaría encantado de financiar la publicación de los artículos de Newton.

Entretanto, la redacción del *De Motu* había obligado a Newton a desarrollar su concepción de la dinámica planetaria, que le condujo a concebir (por fin) la noción de gravitación universal. En medio de la euforia que la inspiración le producía, accedió al plan de Halley, y se puso a elaborar los cálculos pertinentes.

Durante dos años y medio, Newton trabajó completamente aislado, dando origen al

artículo que se convertiría en su obra maestra: *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de filosofía natural). Actualmente, cuando nos referimos a este libro, considerado como una de las mayores obras científicas jamás escritas, solemos denominarlo simplemente *Principia.*

En la más pura tradición medieval, aún entonces vigente, los *Principia* estaban escritos en latín (que seguía haciendo las veces de idioma internacional). El título completo nace del hecho de que, en aquellos días, la ciencia aún se consideraba una rama de la filosofía, a pesar de que las implicaciones del revolucionario trabajo de Newton se extenderían hasta la propia filosofía. A partir de ese momento, ningún filósofo podía ignorar esta nueva cosmología, basada en la práctica. Ya no era posible explicar el mundo simplemente por el procedimiento de pensar en él y elaborar una serie de principios abstractos. Debía tenerse en cuenta la experiencia práctica. Profundamente influido por los descubrimientos *científicos* de Newton, el filósofo Locke elaboraría el empirismo, que establece que nuestro conocimiento deriva fundamentalmente de la experiencia, sentando así las bases de la filosofía moderna. Los *Principia* de Newton estaban llamados a transformar por completo nuestra forma de interpretar el mundo.

Esta obra está considerada también como una de las que dieron origen a la Edad de la Razón. Empezó a reinar una atmósfera de optimismo intelectual; la ciencia había demostrado que el mundo estaba construido de acuerdo a unos principios básicos que podían basarse en la razón. Todo el saber estaba a su alcance: la ciencia tenía la llave de la vida, del universo, de todo.

Y, sin embargo, paradójicamente, este libro moderno como el que más no solo estaba escrito en latín, sino además al más puro estilo de los antiguos griegos. Las tres leyes de la dinámica y la ley de la gravitación universal que contenía podían muy bien constituir las bases de la ciencia moderna, pero estaban construidas y probadas mediante un razonamiento geométrico, el mismo que utilizara Euclides dos mil años antes. Newton era consciente de que estaba escribiendo un clásico, y quería hacerlo al estilo clásico. Le hubiese resultado muchísimo más fácil (habría sido bastante más coherente) utilizar su nuevo descubrimiento: el cálculo diferencial. Pero prefirió que este nuevo método, que un día llegaría a transformar las matemáticas, quedase en secreto. En los *Principia* solo se hace una breve alusión al cálculo diferencial, pero, como veremos, esto sentaría un precedente vital.

El manuscrito de los *Principia* se envió, en primer lugar, a la Royal Society, cuyo secretario era ahora Hooke. Tan pronto como Hooke leyó el manuscrito de Newton, le acusó nuevamente de plagio. Afirmó que, seis años antes, había escrito a Newton relatándole su ley del cuadrado inverso y que este había basado su trabajo en una idea robada.

El efecto que causó esta acusación era predecible. Newton fue incapaz de contener su rabia. Diez años antes de que le llegase la carta de Hooke, él había descubierto la ley de cuadrado inverso, y había desarrollado además la base matemática necesaria. Pero el problema estribaba en que Newton se había guardado su descubrimiento para sí. Halley apeló a los buenos sentimientos de Newton, ya que Hooke estaba enfermo y avejentado,

y su comportamiento antisocial le había reducido a la miseria. Todo lo que quería era algún tipo de reconocimiento y pensaba que a Newton no le costaría nada hacerle una pequeña mención en los *Principia*.

Pero Halley había subestimado a Newton. Sus sentimientos no eran mejores que los de Hooke, y su enfado no conocía límites. En vez de incluir tal reconocimiento en su obra, Newton se dedicó a erradicar sistemáticamente toda referencia que pudiese haber a Hooke, a pesar de que con los nervios se le escaparon unas cuantas. (La furia de Newton no era en absoluto pasajera. Mientras Hooke fue secretario de la Royal Society, Newton rehusó ocupar ningún puesto en ella, rehusó que publicase ninguno de sus trabajos, y se guardó para sí todos sus manuscritos. Hooke viviría aún 17 años más, y este estado de cosas solo se resolvería con su muerte, en 1703.)

Cuando al fin en 1687 fueron publicados, los *Principia* de Newton causaron sensación. Newton se hizo internacionalmente famoso. Si bien su concepto de «fuerza» no fue unánimemente aceptado en el continente, los más grandes científicos de la época no tardaron en reconocer en él a un digno sucesor de Galileo y Descartes.

Entretanto, Jaime II había iniciado una campaña para convertir Cambridge en un bastión de la enseñanza católica. El cuerpo académico se resistió al cambio, y el autor de los *Principia* se convirtió en su inverosímil líder. Newton, el velado hereje, al fin tenía un objetivo sobre el que descargar sus ansiedades. Su decidida resistencia ante el rey podía parecer valiente, e incluso temeraria, si bien estaba impulsada por fuerzas insospechadas. De hecho, si Jaime II no hubiese huido y no se hubiese instaurado una monarquía protestante con Guillermo y María en el trono, Newton se habría encontrado en auténtico peligro. Muchos terminaron por dar con sus huesos en el calabozo por menos.

En reconocimiento por su postura, Newton fue nombrado miembro del Parlamento (MP) en representación de la universidad (que había presentado tres candidatos no electos en este periodo). El hecho de ser un MP implicaba residir algunas temporadas en Londres. Allí, Newton era contemplado con bastante admiración, e incluso fue invitado a comer con el rey. Locke, a quien tuvo la ocasión de conocer, le consideraba «el más grande de todos los pensadores», además de a otros destacados personajes como Christopher Wren (que por entonces estaba a punto de terminar la catedral de San Pablo), Samuel Pepys (diarista y administrador naval, que había sido incongruentemente nombrado presidente de la Royal Society) o Charles Montague (el ambicioso político que más tarde se convertiría en Lord Halifax). Atrajo también a gran número de seguidores de la nueva generación de científicos, utilizando su creciente influencia para colocar a algunos de ellos en los pocos puestos de trabajo remunerados que existían en las universidades a los cuales podían acceder los «filósofos naturales».

Entre estos acólitos se encontraba un tal Fatio de Duillier, un jóven matemático suizo que había conocido al filósofo y matemático alemán Leibniz y al físico holandés Huygens (inventor del primer cronómetro verdaderamente exacto). Fatio le cayó bien a Newton de inmediato, y en poco tiempo se había establecido entre ellos un estrecho vínculo emocional. Newton incluso comenzó a hacer generosas referencias a Fatio en

sus artículos científicos, en reconocimiento a los retazos de información que Fatio le proporcionaba (lo cual era ya de por sí un gran honor, sin duda). Newton buscó alojamiento cerca de Fatio mientras estaba en Londres, y este incluso le sugirió que abandonase sus habitaciones en Cambridge y se instalase en Londres. Según Richard S. Westfall, el gran biógrafo moderno de Newton, su relación con Fatio «fue la experiencia más profunda que tuvo en su vida adulta». Cuando estaban separados, se intercambiaban cartas de intenso contenido.

Enamorarse (a pesar de que él no tuviera ni idea de que eso era lo que le había sucedido) le dio a Newton, que por entonces contaba 48 años, fuerzas renovadas. Además de su genuino trabajo científico en el campo de la óptica, se lanzó a nuevas conquistas alquímicas con más entusiasmo que nunca. Según su asistente, pasó «6 semanas en su laboratorio, donde el fuego apenas se apagaba, fuese de día o de noche, turnándonos allí sentados una noche él y otra yo, hasta que daba por concluidos sus experimentos químicos». Al mismo tiempo, su creciente confianza en sí mismo le animó a escribir un artículo en el que relataba sus «descubrimientos» religiosos. Incluso se lo mostró a Locke, que accedió a facilitar que se publicase anónimamente en Holanda. Pero en el último momento Newton se echó para atrás: refutar la Santísima Trinidad podría ensuciar el nombre de su Facultad (por no hablar del suyo propio).

Según una historia legendaria, Newton estuvo a punto de ennegrecer algo más que el nombre de su Facultad. Después de pasarse toda la noche trabajando, salió un día a misa, dejando distraídamente una vela encendida encima de su mesa. Durante su ausencia su perro, Diamond, tiró la vela al suelo y provocó un incendio que redujo a cenizas años y años de inestimable trabajo. Cuando volvió de misa, se dice que Newton exclamó: «¡Oh, Diamond! ¡Diamond! ¡Qué poco consciente eres del daño que has causado!».

La presión que sufrió la ya sobrecargada mente de Newton se volvió cada vez más dañina. Hacia finales del año 1692 parece ser que a Newton le dio una crisis de fe en la alquimia que le afectó profundamente. Y había otra crisis en ciernes: Fatio había estado gravemente enfermo, y poco después, sin previo aviso, anunció que su madre había fallecido y que debía volver a Suiza. Newton estaba desolado, no paraba de enviar angustiadas cartas a Fatio, rogándole que se instalase en Cambridge con él. Fatio no se decidía a partir, fuertemente atraído por Newton. El intercambio de cartas llegó a adquirir un tono febril hasta que, de repente, se interrumpió. No podemos hacer nada más que intentar imaginar el porqué.

Más o menos por esta época, un colega catedrático señaló que Newton estaba siempre de «un malhumor que se apoderó casi completamente de él, y que hizo que estuviese cerca de cinco noches sin pegar ojo». De los cuatro meses siguientes no se tiene noticia alguna. Este silencio se ve interrumpido al fin por una carta escrita a Pepys, en la cual Newton le escribe: «Estoy sumamente alterado por el embrollo en el que me encuentro inmerso […] mi mente ya no es tan resistente como antes». Tres días después, Locke recibió una carta de Newton, garabateada y manchada de tinta, escrita en la Bull Tavern, en Shoreditch. En esta carta, Newton le ruega que le perdone por «ser de la opinión de que me empujasteis a liarme con mujeres [y por decir que] me gustaría que estuvieseis

muerto».

Newton había sufrido otro colapso mental, del cual tardó casi dos años en recuperarse. Al parecer, Fatio tuvo una depresión todavía peor, desapareció por completo del mundo de las matemáticas, y lo último que se supo de él es que estaba viviendo con una secta religiosa extremista de exiliados franceses.

Newton jamás volvería a emprender grandes obras científicas, a pesar de que elaboró sumarios de obras inéditas hasta entonces, que contribuyeron considerablemente a mejorar su reputación. Cuando se recuperó de su enfermedad, sus amigos le animaron a buscar algún tipo de trabajo de prestigio en Londres, pero rechazó con obstinación el puesto de presidente de la Royal Society porque Hooke seguía ocupando la secretaría. Newton recurrió a su colega político Montague, y fue nombrado Warden of the Mint (guardián de la Real Fábrica de Moneda), con un sueldo desorbitante de más de 2.000 libras (en la época, un trabajador cualificado que ganara 20 libras anuales se podía considerar bastante afortunado).

El nombramiento de Newton quiso ser una bien merecida sinecura: una recompensa para el ornamento intelectual más noble de Inglaterra. O al menos esa es la versión oficial. Pero su admirador francés Voltaire no era de esta opinión: «Supuse que la villa y corte londinense le nombró Master of the Mint por aclamación. Pero nada de eso. Isaac Newton tenía una sobrina completamente encantadora que encandiló al ministro Halifax Montague. Las fluxiones y la gravitación no habrían servido de nada sin esa preciosa sobrina». Y curiosamente, parece ser que esta disparatada versión encierra parte de verdad.

En cualquier caso, Newton no estaba dispuesto a considerar su trabajo como una sinecura. Albergaba otras ideas. Por aquel entonces, la moneda inglesa estaba sufriendo bastantes malos tratos por parte de falsificadores y los denominados *«clippers»* (algo así como «recortadores», personas que se dedicaban a recortar los bordes de las monedas de oro y plata). Una vez más, Newton poseía un blanco sobre el que descargar legítimamente su largamente reprimida furia. Esta vez él no corría ningún peligro, y no hubo quien le parase. En cuestión de meses, Newton se había convertido en el terror de los suburbios londinenses, llevando a cabo una campaña inflexible contra todos los falsificadores que encontraba. Más de un centenar dieron con sus huesos en la cárcel de Newgate, y Newton fue el responsable de que en Tyburn una veintena de ellos murieran ahorcados. Insistió en estar presente en todos los procesos.

Pronto los más duros criminales temblaban ante la sola mención de su nombre. Newton estaba completamente descontrolado: patrullaba las tabernas (con una escolta armada), se «entrevistaba» con sospechosos e informadores… Durante estas «entrevistas» podía dar rienda suelta a su rabia, sobre criminales de la peor calaña y sobre inocentes, a partes iguales. Se dice que las transcripciones de estos interrogatorios, que solo presentaban una versión formal de los procedimientos, parecían sacadas de la *Beggars Opera* (La ópera de los mendigos) que sirvió de base a *La ópera de 3 centavos*. Por desgracia, Newton destruyó estos archivos, «de los cuales quemamos cajas y cajas», según declaración del funcionario de la Mint que le servía de asistente.

El trabajo de Newton no tardó en atraer la atención de la gente fuera de los suburbios. Un acaudalado caballero de Kensington llamado William Chaloner organizó una campaña contra la Real Fábrica, acusándola de negligencia. Era conocido como inventor, y sugirió al Parlamento que las máquinas de acuñar de la Fábrica deberían ser reemplazadas por un invento suyo. Reacio como siempre a que se pusiesen en duda sus métodos de trabajo, Newton se negó rotundamente a que Chaloner examinase las máquinas de acuñar de la Fábrica. Tras lo cual Chaloner acusó a la Real Fábrica de falsificar monedas, y de estar aliada con los falsificadores.

Esto fue un completo error. Newton tenía mucho que ocultar (herejía, etc.) y era bastante paranoide en lo referente a posibles acusaciones por sus procedimientos ilegales. Newton «investigó» a Chaloner persistente e inflexiblemente, descubriendo gracias a informadores de los suburbios que él mismo había hecho una fortuna falsificando monedas. A pesar de que Chaloner se hallaba bajo la protección de amigos bastante influyentes, incluyendo miembros del Parlamento muy bien situados, Newton insistió con una pasión a prueba de bomba. Chaloner era un hombre despiadado, que traicionó a algunos colegas suyos (que en consecuencia terminaron en la cárcel) y que envió veladas amenazas a Newton en un intento por eludir a la justicia. Pero Chaloner había llamado mentiroso a Newton (que de hecho mentía cada vez que rezaba en la iglesia), y este no descansaría mientras un hombre así siguiese vivo. Chaloner fue ahorcado en Tyburn en 1699.

Ese mismo año, Newton pasó a ser Master of the Mint (director de la Real Fábrica de Moneda), y su salario pasó a ser de 3.500 libras. Por entonces la atención de Newton se vio absorbida por asuntos más serios. La acción de los *«clippers»* había tenido como consecuencia que el peso total de las monedas de plata en circulación se redujese a la mitad, lo que hacía que la moneda inglesa fuese frecuentemente rechazada en el continente. Esto estaba causando estragos en el comercio exterior, y la Tesorería estaba al borde del colapso. Si tal cosa sucedía, cabía la posibilidad de que la monarquía protestante fuese detrás, con la consiguiente amenaza de que se restaurase en el trono a la temida dinastía católica de los Estuardo.

A la desesperada, el gobierno decidió que no había más que una solución: toda la moneda debía ser acuñada de nuevo. Newton se entregó de lleno a esta hercúlea tarea con su resolución característica. En la Fábrica de Moneda, 300 hombres y 50 caballos (para hacer girar las prensas) se pusieron manos a la obra, reacuñando más de 6.500.000 de libras en monedas en un periodo de tres años. Esto era un logro bastante importante: en los últimos 30 años no se había acuñado más que la mitad de esa cantidad…

En 1703, por fin, Hooke falleció, y Newton aceptó el puesto de presidente de la Royal Society. Newton era incapaz de actuar magnánimamente, y ordenó de inmediato que se quemase el retrato de Hooke. Una vez hecho esto se dedicó a revitalizar la Society, que había degenerado en un lugar en el que se intercambiaban chismorreos. Instituyó reuniones semanales, en cada una de las cuales se mostraba un nuevo experimento. A diferencia de los anteriores presidentes, que rara vez hacían acto de presencia, Newton no se perdió más que tres reuniones en los siguientes veinte años.

La presidencia de Newton se vio ensombrecida por su comportamiento característico, solo que en vez de habitantes de los suburbios esta vez las víctimas eran miembros de la Royal Society. El episodio menos afortunado de todos tuvo como protagonista a John Flamsteed, el astrónomo real, al cual Newton persiguió prácticamente hasta su muerte.

Newton ya se había enfrentado a Flamsteed mientras escribía los *Principia*. Necesitado de datos numéricos de observación para sustentar sus cálculos sobre la órbita lunar, Newton había escrito a Flamsteed al Royal Observatory, en Greenwich. Flamsteed era un perfeccionista, y ya llevaba más de una década haciendo anotaciones para la elaboración del que se revelaría como el más exacto y extenso de los mapas celestes que se habían emprendido hasta ese momento. Newton necesitaba cifras exactas de inmediato, pero Flamsteed era reacio a permitir que los resultados de largas horas de trabajo apareciesen diseminados por ahí, y solo proporcionaba tales datos con mucha reticencia, si es que llegaba a facilitarlos. Por ello Flamsteed terminó por sufrir el mismo destino que Hooke y cualquier alusión a sus descubrimientos que Newton fue capaz de localizar en la segunda edición de los *Principia* fue sistemáticamente borrada. Y esto no sería más que el principio.

Cuando Newton se convirtió en presidente de la Royal Society, el Royal Observatory pasó directamente a ser competencia suya. En el acto ordenó a Flamsteed que publicase todos sus descubrimientos sin pérdida de tiempo. Flamsteed protestó, y durante años luchó incansablemente en la retaguardia contra el persistente avasallamiento de Newton. Pero Newton no se amilanaba tan fácilmente y, finalmente, Newton engatusó a Halley para que confiscase los artículos de Flamsteed, el trabajo de toda su vida. Halley recibió la orden de editar estos artículos para su publicación, y 400 ejemplares vieron la luz. Flamsteed estaba absolutamente indignado, y con razón, por semejante profanación de su precioso trabajo.

Se las arregló para conseguir un requerimiento contra la Royal Society, que era la que publicaba la obra. Pero era demasiado tarde: los ejemplares ya se habían distribuido. Con la ayuda de varios amigos suyos, consiguió localizar 300 ejemplares, que quemó personalmente. La Royal Society podía muy bien ser la mayor institución de tales características en Europa, pero sus procedimientos –y en particular los procedimientos de su presidente– tenían muy poco de científico algunas veces.

Ahora que Hooke estaba muerto, Newton decidió que podía publicar sin miedo algunos artículos suyos más. Para entonces no había una sola persona en Inglaterra que osase poner a Newton en entredicho, y mucho menos acusarle de plagio. En 1704, Newton publicó su segunda obra maestra, la *Óptica*. En realidad, esta obra era poco más que un sumario del innovador trabajo que había llevado a cabo en el campo de la óptica 30 años atrás. Como apéndices de esta obra se incluían dos artículos resumiendo su método de fluxiones (cálculo diferencial), método este que también había descubierto hacía 30 años. Por desgracia, el filósofo alemán Leibniz había publicado su propio artículo sobre cálculo 20 años atrás. Las inevitables acusaciones de plagio tomaron un cariz cada vez más violento.

Los hechos, tal y como los conocemos nosotros, son los siguientes: si bien es cierto

que Leibniz estaba al corriente de la existencia de los primeros artículos de Newton sobre la materia, no cabe duda de que él mismo desarrolló su propia versión del cálculo diferencial, independiente de la de Newton. De hecho, su notación no tiene nada que ver con la de Newton. Actualmente utilizamos la notación de Leibniz (que incluye el símbolo ∫ para representar la integral); también utilizamos el término con el que Leibniz bautizó el método: cálculo diferencial. La nula predisposición de Newton a admitir cualquier tipo de crítica en lo referente a su trabajo condenó sus fluxiones al olvido. Los matemáticos del continente ya estaban utilizando el cálculo diferencial de Leibniz, pero no hay ninguna duda de que Newton fue el primero en descubrir este método.

No obstante, pronto quedó muy claro que los hechos en sí carecían por completo de importancia para ambas partes. Este enfoque, que por desgracia no tiene nada de científico, que se dio a los debates sobre la prioridad de los científicos iba a sentar un precedente que terminaría por convertirse en tradición, vigente aún hoy. Esta vez, Newton tendría que vérselas con un adversario magnífico, aún peor que Hooke, con una talla intelectual que se aproximaba a la suya propia, y una testarudez también equiparable a la suya.

Leibniz cometió un error táctico al acusar a Newton de deshonestidad, lo que desató una vez más su ira ilimitada: enfermó literalmente de rabia. A esto siguió una acre correspondencia entre miembros de las dos facciones, en la cual las dos mentes más privilegiadas de Europa demostraron una impresionante falta de escrúpulos.

La Royal Society decidió formar un comité para investigar el asunto. Newton interceptó el informe expedido por el comité, lo reescribió completamente a su favor, y llegó hasta el extremo de revisarlo anónimamente por su cuenta. Escribió gran número de artículos ofensivos defendiendo su postura, obligando a otros eminentes científicos y matemáticos a publicarlos como suyos. Leibniz tampoco se quedó corto, y la controversia se prolongó en iguales términos hasta su muerte en 1714.

Pero la furia de Newton no se calmaba tan fácilmente. Persiguió a Lebniz más allá de la tumba. Aquellos que iban a verle hablan de sus diatribas espontáneas contra el fallecido filósofo alemán, y prácticamente todos los artículos científicos que Newton publicó a partir de entonces incluyen un furioso párrafo castigando a su desaparecido adversario. Como ahora era imposible que Leibniz pudiera retirar su acusación de deshonestidad, el estigma perduró.

Algunos psiquiatras piensan, con razón, que quizá en la naturaleza más íntima de Newton hubiera una deshonestidad que le impulsase a defenderse tan encarnizadamente. ¿Pudiera ser que hubiese algo más allá de su herejía, más allá de la ansiedad patológica que le impulsaba a trabajar día y noche, más allá de la incapacidad de soportar cualquier tipo de crítica o acusación? Pudiera ser. Es posible que estuviese aterrorizado por indicios de una homosexualidad reprimida, o por algún otro terrible secreto que era incapaz de afrontar. E incluso en este caso, su rechazo por conocer la verdad acerca de su propia naturaleza le condujo a descubrir secretos aún más profundos de la naturaleza en sí. Su fracaso como ser humano –desde un punto de vista psicológico y de conducta– parece estar inextricablemente ligado al éxito de sus trabajos, a pesar que aún hoy no se

haya explicado la naturaleza única de estos.

Hay una tendencia a creer que, durante los últimos años de vida, Newton desperdició su gran talento. Es cierto que no produjo nada nuevo pero, ¿qué más podía haber producido? Preguntas como esta carecen de sentido. Y, sin embargo, en el caso de Newton, algo quedaba sin duda pendiente. Tomemos, por ejemplo, su trabajo con la luz. En contra de lo que empezaba a rumorearse, Newton se ciñó a la antigua concepción de la luz, que postulaba que esta consistía en un chorro de partículas. No obstante, estaba dispuesto a admitir de buena gana que ciertos hechos parecían demostrar que la teoría opuesta, que postulaba que la luz se propagaba en ondas, no andaba descaminada. Si hubiese seguido dedicándole su atención a este asunto, no es del todo improbable que hubiese llegado a una conclusión parecida a la teoría cuántica de la luz, que establece que esta se compone de ondas y de partículas. Tendrían que pasar 200 años para que al físico danés Niels Bohr se le ocurriese esta teoría, que revolucionaría la física del siglo XX.

No cabe duda de que la genialidad suprema de Newton había decaído cuando llegó a Londres, a la edad de 43 años, pero indudablemente seguía estando en condiciones de competir con cualquier experto de Europa. En 1696, Leibniz había planteado un problema, con la ayuda de su amigo el matemático suizo Johann Bernoulli (el cual le había ayudado a desarrollar su versión del cálculo integral). El problema era el siguiente: se seleccionan al azar dos puntos situados en un plano vertical. ¿Qué trayectoria curva traza un cuerpo pesado sometido a la fuerza de la gravedad al pasar sin fricción del punto superior al punto inferior en el menor tiempo posible? Este problema, denominado *braquistócrona* (es decir, del menor tiempo) se planteó como un desafío a los expertos de Europa. Newton se enteró de los pormenores de ese problema al volver a casa después de un duro día de trabajo en la Fábrica de Moneda. Seguía siendo bastante reacio a poner de manifiesto (no digamos en entredicho) su capacidad intelectual en público, tal y como escribió a un colega: «No es de mi agrado […] que unos extranjeros me instiguen o me tomen el pelo a costa de las matemáticas». A pesar de esta declaración, Newton no pudo resistirse a echarle un vistazo al problema de marras después de cenar, y a las cuatro de la mañana lo tenía resuelto. Se trataba de una curva cicloide, es decir, de una curva plana descrita por un punto de la circunferencia cuando rueda por una línea recta. Al día siguiente Newton envió su solución anónimamente; pero Bernoulli supo enseguida quién era el responsable, lo cual expresó con su celebrado comentario: «Reconozco al león cuando veo su zarpa».

Veinte años más tarde, cuando Newton tenía 74 años, Leibniz decidió volver a poner a prueba a su viejo enemigo y planteó un problema que iba intencionadamente dirigido «a la hermandad de brillantes investigadores matemáticos». Traducido a la jerga moderna, el problema rezaba: «Para cualquier familia de curvas de un solo parámetro: ¿cuáles son las trayectorias ortogonales? La pregunta tenía trampa. Una vez más, Newton recibió el problema al volver del trabajo en la Fábrica de la Moneda, y una vez más lo había resuelto antes de irse a la cama, sorteando la ingeniosa trampa sin problema alguno. Leibniz no hizo ningún comentario; ya no volvería a plantear más desafíos, y un año

después fallecería.

El pelo de Newton se había llenado de canas cuando estaba en la treintena, «una metamorfosis causada por el exceso de concentración en sus estudios», en opinión de un colega catedrático. Pero conservaría una excelente forma física hasta el final de sus días. Jamás necesitó gafas, ni perdió un solo diente. Fuentes contemporáneas aseguran que vivía de una manera frugal, que casi rozaba la pobreza. Sus visitantes franceses se quejaban de que en su casa «la comida era incomestible, y la bebida era igual de pobre y escasa». Pero claro, también hay que tener en cuenta que los franceses siempre hacen comentarios por el estilo cuando viajan a Inglaterra. En cualquier caso, las comidas de Newton parecerían frugales solo en comparación con las costumbres del siglo XVIII. La compra semanal típica en casa incluía un ganso y un pollo, dos pavos y dos conejos; y a su muerte no le debía menos de siete libras diez peniques a su abastecedor de bebidas (que pueden traducirse en quince barriles de cerveza). Esto difícilmente puede calificarse de santa abstinencia.

Newton continuó siendo director de la Real Fábrica de Moneda hasta su muerte. También se le reeligió año tras año para la presidencia de la Royal Society (a ver quién se atrevía a enfrentarse a él). Incluso después de cumplir los ochenta, acudía puntual a las reuniones semanales, en las que no echó una cabezada más que muy de vez en cuando. Se encargó también de la preparación de nuevas ediciones de los *Principia* y de la *Óptica,* y prosiguió ávidamente con sus especulaciones teológicas, produciendo artículos tales como «Sobre las profecías de Daniel y el Apocalipsis de San Juan» o la «Cronología revisada de los Antiguos Reinos» (en la cual calculó la fecha exacta en que comenzó el mundo, según su interpretación personal de los textos bíblicos). Siempre encontraba algo en lo que ocuparse. Y de acuerdo con su biógrafo y psicólogo Frank E. Manuel: «El trabajo, ese falso bálsamo contra la ansiedad, se tradujo en una obsesión por copiar cuando no había nada más que hacer».

Durante sus últimos años, Newton estaba al cuidado de su sobrina –que ya había dejado de ser una belleza londinense– y del marido de esta, que anotaba concienzudamente las anécdotas y recuerdos del fascinante viejo. Newton, el más grande de todos los científicos, murió al fin el 20 de marzo de 1727, a la edad de 84 años.

Se le enterró fastuosamente en la Abadía de Westminster, y su féretro fue cargado por duques, condes y el presidente de la Cámara de los Lores. Al funeral acudió un inmenso gentío. Voltaire, que se hallaba visitando Londres por entonces, exclamó maravillado: «Inglaterra honra a un matemático de la misma manera que los súbditos de otras naciones honran a un rey que ha desempeñado su cargo satisfactoriamente».

Citas diversas

El epitafio rechazado para la tumba de Newton:

«La naturaleza y sus leyes yacían ocultas en la oscuridad.
Dijo Dios: *¡Que se haga Newton!* Y reinó la claridad.»

Alexander Pope

Palabras que supuestamente se pronunciaron al contemplar la estatua de Newton en la capilla del Trinity College a la luz de la luna:

«[…] Newton, con su prisma y su rostro impasible. Indicio marmóreo de una mente en continuo viaje a través de los extraños mares del Pensamiento, completamente solo.»

The Prelude, William Wordsworth

Introducción de Einstein a una nueva edición de la *Óptica:*

«¡Afortunado Newton, feliz infancia de la ciencia! […] Para él la naturaleza era un libro abierto, cuyas palabras podía leer sin esfuerzo alguno. Las concepciones de las cuales se servía para ordenar el material proporcionado por la experiencia parecían brotar espontáneamente de la propia experiencia, de los bellos experimentos que alineaba como si de juguetes se tratase, descritos con cariñosa profusión de detalles […] La época de Newton hace tiempo que se perdió en el olvido; somos incapaces de vislumbrar el esfuerzo y sufrimiento plagado de dudas de su generación; las obras de algunos grandes pensadores y artistas han permanecido para deleite y ennoblecimiento nuestro y de aquellos que nos sucedan. Los descubrimientos de Newton han pasado a engrosar las arcas del conocimiento válido.»

Definición de fuerza dada por Newton en los *Principia:*

«Una fuerza aplicada es una acción ejercida sobre un cuerpo, con el fin de cambiar su estado, sea de reposo, o de movimiento rectilíneo y uniforme.»

Esta fuerza consiste únicamente en la acción, y deja de actuar sobre el cuerpo en el momento en el que cesa esta acción. Y es que un cuerpo mantiene el estado que se le confiere, únicamente a causa de su inercia. Pero las fuerzas aplicadas tienen orígenes diferentes, como la percusión, la presión, la fuerza centrípeta.

Opinión de Leibniz sobre Newton antes de que se enemistasen:

Leibniz dijo que si se cogían las Matemáticas desde el comienzo del mundo hasta la época de Sir I., lo que él había hecho era sin duda la mejor parte y añadió que había consultado a todos los entendidos de Europa sobre alguna cuestión difícil sin que sus dudas quedasen satisfechas y que cuando escribió a Sir I. le envió la respuesta a vuelta de correo diciéndole que hiciese esto y aquello y que encontró la solución.»

«Responsio»: como respuesta a la reina de Prusia.

Extracto de la explicación de Newton sobre el movimiento de los planetas:

«Las fuerzas centrípetas van dirigidas hacia los centros individuales de los planetas».

De lo cual infiero que existen fuerzas centrípetas directamente dirigidas a las masas del Sol, de la Tierra y de otros planetas.

La Luna gira en torno a nuestra Tierra, describiendo con radios que surgen de su centro áreas prácticamente proporcionales a los tiempos en que son descritas, como puede fácilmente deducirse si se compara su velocidad con su diámetro aparente; ya que su movimiento es más lento cuando su diámetro es menor (y por tanto su distancia es mayor), y su movimiento es más rápido cuando su diámetro es mayor.

Las revoluciones efectuadas por los satélites de Júpiter en torno a este planeta son más regulares; ya que describen círculos concéntricos en torno a Júpiter con movimientos uniformes, tanto como puedan percibir nuestros sentidos.

Igualmente, los satélites de Saturno giran en torno a este planeta con movimientos circulares y uniformes, sin ser prácticamente alterados por cualquier excentricidad que haya podido observarse.

Cronología

Cronología de la vida de Newton

1642	Nace en el caserío de Woolsthorpe, Lincolnshire.
1644	Su madre vuelve a casarse y se traslada a vivir a una aldea vecina, dejando a Isaac al cuidado de su abuela.
1653	Su madre vuelve a casa al morir su segundo marido.
1659	Su madre le pide que vuelva de la escuela a la que asiste en Grantham para hacerse cargo de la granja.
1660	Es admitido en el Trinity College, en Cambridge, en calidad de becario.
1665	Obtiene su título de Bachelor of Arts (licenciatura) en Cambridge y huye a su casa en Woolsthorpe para escapar de la peste.
1665-1666	*Annus mirabilis* de Newton, durante el cual recibe la inspiración que le conduciría a formular su ley de la gravitación.
1666	Vuelve a Cambridge y es elegido miembro del Consejo del Trinity College.
1669	Es elegido catedrático de Matemáticas en Cambridge.
1672	Es elegido miembro de la Royal Society.
1678	Sufre la primera depresión nerviosa, producida por la controversia mantenida con Hooke.
1687	Publica los *Principia Mathematica*.
1693	Sufre un colapso mental tras separarse de Fatio.
1696	Se traslada a vivir a Londres y es elegido guardián de la Fábrica de Moneda.
1699	Asciende a director de la Fábrica.
1703	Acepta la presidencia de la Royal Society tras la muerte de Hooke.
1704	Publica la *Óptica.*
1727	Muere a los 84 años.

Cronología de la época

1642	Muere Galileo. Comienza la guerra civil en Inglaterra. El explorador holandés Tasman elabora un mapa de la Tierra de Van Diemen (Tasmania en la actualidad).
1643	Fin de la Guerra de los Treinta Años, que deja grandes zonas de Alemania devastadas.
1644	Ejecución de Carlos I y proclamación de la Commonwealth; primera vez que triunfa una revolución y da paso a una República en un importante país europeo.
1645	Muere Descartes.
1660	Fin de la Commonwealth y Restauración de Carlos II en el trono.
1664-1665	Se extiende la epidemia de la peste por Inglaterra.
1665	Muere el gran matemático francés Pierre de Fermat.
1669	El gobierno inglés promulga la constitución en la colonia de Las Carolinas, en América.
1688	Revolución Gloriosa: Jaime II parte al exilio y los monarcas protestantes Guillermo y María ascienden al trono.
1689	Locke publica *Ensayo sobre el entendimiento humano*, que sentó las bases del empirismo.
1706	*Act of Union* entre los parlamentarios ingleses y escoceses, quedando así establecida la Gran Bretaña.
1715	Muere Luis XIV, el Rey Sol, en Versalles.
1716	Muere el matemático y filósofo alemán Leibniz.

Otras lecturas recomendadas

Richard S. Westfall, *Never at Rest* (Cambridge, 1996), la biografía más moderna. [De este mismo autor, *La construcción de la ciencia moderna*, Barcelona, Labor, 1980.]

John Fauvel (ed.), *Let Newton Be* (Oxford, 1995), una perspectiva sobre su vida y su obra.

Frank E. Manuel, *A Portrait of Isaac Newton* (Cambridge, 1968), el mejor estudio psicológico.

Bernard Cohen (ed.), *Newton* (Londres, 1995), textos, experiencias y comentarios.

Ivars Peterson, *El reloj de Newton: caos en el sistema solar* (Madrid, Alianza, 1995). Newton y el más allá: caos en el universo.

GALILEO
Y EL SISTEMA SOLAR
EN 90 MINUTOS

PAUL STRATHERN

SIGLO XXI ESPAÑA

Siglo XXI de España / En 90 minutos

Paul Strathern

Galileo y el sistema solar

en 90 minutos

Traducción: Antón Corriente
Revisión: José A. Padilla

Galileo pudo, pero no quiso, convertirse en el primer mártir científico. Fue el coloso que hizo de puente entre el renacimiento de Leonardo y la era científica de Newton. Sin sus descubrimientos la humanidad habría permanecido ignorante de la verdadera naturaleza de nuestro sistema solar y de nuestro lugar en el universo.
Galileo y el sistema solar presenta una instantánea brillante de Galileo, su controvertida obra y las desfavorables condiciones históricas contra las que tuvo que trabajar. Ofrece explicaciones claras y accesibles del significado de sus enunciados y de cómo desembocaron en una explicación científica del universo para el siglo XX.

«90 minutos» es una colección compuesta por breves e iluminadoras introducciones a los más destacados filósofos, científicos y pensadores de todos los tiempos. De lectura amena y accesible, permiten a cualquier lector interesado adentrarse tanto en el pensamiento y los descubrimientos de cada figura analizada como en su influencia posterior en el curso de la historia.

Diseño de portada
RAG

Reservados todos los derechos. De acuerdo a lo dispuesto en el art. 270 del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes sin la preceptiva autorización reproduzcan, plagien, distribuyan o comuniquen públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo de soporte.

Nota editorial:

Para la correcta visualización de este ebook se recomienda no cambiar la tipografía original.

Nota a la edición digital:

Es posible que, por la propia naturaleza de la red, algunos de los vínculos a páginas web contenidos en el libro ya no sean accesibles en el momento de su consulta. No obstante, se mantienen las referencias por fidelidad a la edición original.

Título original
The Big Idea: Galileo and the Solar System

Este libro se contrató a través de Ute Körner Literary Agent, S. L., Barcelona –www.uklitag.com– y de Lucas Alexander Whitley Ltd. –www.lawagency.co.uk

© Paul Strathern, 1998

© Siglo XXI de España Editores, S. A., 1999, 2015
para lengua española

Sector Foresta, 1
28760 Tres Cantos
Madrid - España

Tel.: 918 061 996
Fax: 918 044 028

www.sigloxxieditores.com

ISBN: 978-84-323-1728-6

Introducción

Galileo estuvo a punto de ser el primer y último gran mártir de la ciencia. Sabiamente, declinó hacer semejante papel, prefiriendo jurar que se había equivocado en todo, pues sabía muy bien que los juramentos nada tenían que ver con la cuestión.

Galileo vivió en los años que separan el Renacimiento de Leonardo de la era científica de Newton. El Renacimiento supuso el regreso de las antiguas nociones griegas de verdad, verdad revelada por la investigación de las pruebas, en lugar de la referencia a la autoridad. El humanismo optimista resultante alentó la curiosidad en todos los campos del conocimiento, pero este era por lo general como los escritos de Leonardo, multidisciplinar, de amplias miras, brillante, pero asistemático y carente de un principio general unificador. Así eran los pensadores que rompieron el hielo de la larga era glaciar medieval.

Después de Leonardo vino la época de Descartes y Galileo. El filósofo francés introdujo la filosofía de la razón, basada en su célebre premisa «Pienso luego existo». Galileo dio ojos y sentidos a esta recién nacida razón. El termómetro, diversos aparatos de medición, un telescopio muy perfeccionado: con ellos Galileo confirmó la naturaleza científica de la realidad y el lugar que ocupa el Sol en el centro del sistema solar. Anteriormente se creía que las leyes de la física solo eran aplicables a la Tierra. Los planetas y las estrellas se consideraban gobernados por un sistema celestial propio y distinto.

Después de Galileo, el camino quedaba despejado para dar paso a una explicación científica totalizadora del universo. En la época siguiente, Newton vendría a ofrecer la primera respuesta a esta cuestión. Sigue siendo la gran pregunta, y sigue obsesionando a la ciencia en el día de hoy.

Vida y obra

Galileo Galilei nació en Pisa el 15 de febrero de 1564, solo tres días antes de la muerte de Miguel Ángel, el último de los héroes del alto Renacimiento, a los 89 años de edad. Se cree que la familia de Galileo procedía del Mugello, un valle apartado a 24 kilómetros por caminos montañosos hacia el norte desde Florencia. Esta pequeña región aislada debió de contar con una despensa de genes notables, pues de allí salieron también los artistas Fra Angelico y Giotto, así como la familia Médicis.

El padre de Galileo, Vincenzo, procedía de una familia noble florentina que había conocido mejores tiempos. Tenía poco dinero y un carácter combativo que contribuía a mantenerle en esa situación. Pero era también un hombre de verdadero talento, había estudiado música en Venecia y se había convertido en un eminente experto en teoría musical. Se rebeló contra la camisa de fuerza del contrapunto, insistiendo en que la música debía agradar al oído en la práctica antes que a la mente en la teoría formal de la partitura. Sus composiciones influyeron en la liberación musical que desembocaría en el nacimiento de la ópera al final del siglo.

De tal palo, tal astilla. Galileo se convirtió en un mozo pelirrojo espabilado y presuntuoso cuya fachada encantadora y extrovertida ocultaba un temperamento algo más complejo. En casa, las cosas no eran fáciles. Su madre, Giulia, consideraba que se había casado por debajo de sus posibilidades. Con un inútil, decía ella. Esto no tardó en amargarla, convirtiéndola en una esposa regañona y una madre absorbente. Galileo se acostumbró a ser el centro de su atención, beneficiándose de la autoestima resultante, pero tras su carácter exuberante acechaban siempre las incertidumbres nacidas de su tormentosa vida familiar.

Cuando Galileo contaba diez años la familia se trasladó a Florencia, donde su padre se convirtió en músico de la corte y conocido polemista. Galileo fue enviado a educarse al monasterio de Vallombrosa, en los montes, a 24 kilómetros al este de la ciudad. Aquí tomó tal apego a la vida monástica que decidió hacerse novicio, pero Vincenzo tenía otros planes para él y, a los catorce años, fue retirado del monasterio y su educación encomendada a tutores en Florencia.

En 1581, a los 17 años, Galileo volvió a su ciudad natal para estudiar medicina en la Universidad de Pisa. Su padre quería que se hiciera médico para que aportara unos muy necesarios ingresos a la familia.

En Pisa, Galileo no tardó en aborrecer el escolasticismo medieval académico. Fuera de la universidad había comenzado una nueva era. El Renacimiento había transformado el arte y la arquitectura, y se respiraba un aire nuevo de optimismo. El comercio y la banca revitalizaban Europa. Lutero y Calvino habían roto el monopolio de la iglesia. Colón había abierto la ruta de las Américas y los portugueses comerciaban con China. Pero la educación seguía apegada a la tradición, sin reformar. La desfasada filosofía natural de Aristóteles seguía dominándolo todo, y la medicina estaba aún enraizada en la fisiología

peligrosamente inadecuada de Galeno. La interpretación de textos latinos y griegos seguía a la orden del día.

Galileo no ocultaba su desprecio por sus maestros. Caían a menudo en el error, y él insistía en dejarles en evidencia, poniéndose en pie durante las clases y haciendo preguntas irónicas. Según Aristóteles los cuerpos pesados caen más deprisa que los ligeros. Entonces, ¿por qué todas las piedras del granizo llegan a tierra a la misma velocidad? El maestro replicaba que, evidentemente, las más ligeras caían desde una parte más baja del cielo. Galileo recibía tales explicaciones con el desprecio que merecían, y su arrogancia era contemplada con desprecio igualmente merecido por parte de las autoridades docentes. Lo que a Galileo le sobraba de perspicacia intelectual, le faltaba de perspicacia para lo social. Incluso era condescendiente con sus compañeros. Galileo era demasiado listo, demasiado para su propio bien y, a falta de retos para el intelecto, buscó estímulo en las tabernas y los burdeles.

La parranda se le daba bien al estudiante vivaracho de la barba roja, pero su apetito por lo intelectual era aún mayor. Las cosas siempre se animaban entre Navidad y Semana Santa cuando el gran duque de Toscana trasladaba su corte de Florencia a Pisa. Por unos meses este remanso provinciano se convertía en el centro de la vida social, lleno de toda clase de diversiones cosmopolitas. Galileo logró colarse en una conferencia privada del matemático de la corte, Ostilio Ricci, y quedó enseguida entusiasmado. Siempre le había atraído el cálculo abstracto, pero la universidad consideraba prácticamente irrelevantes las matemáticas. (Tras el fallecimiento del profesor de matemáticas de Pisa, su cátedra permaneció vacía los años que Galileo estuvo allí.)

Galileo adquirió la costumbre de colarse en las conferencias de Ricci, destinadas a los jóvenes de la corte. El intruso se armó de valor y se dirigió al maestro, haciéndole preguntas al acabar las conferencias. Ricci percibió enseguida su talento excepcional y le animó.

Galileo había encontrado por fin un maestro al que podía admirar. Ricci no era un matemático cortesano cualquiera. Era también un ingeniero militar excepcional. (Algunos años más tarde fue el encargado de reconstruir la fortaleza-islote del Château d'If frente a Marsella, cuyas fortificaciones describe Alejandro Dumas en su famosa novela, *El Conde de Montecristo.*) Ricci era la prueba de que se podía ganar dinero con las matemáticas si se destinaban a fines prácticos.

A Vincenzo no le hizo gracia enterarse de la escasa atención que su hijo dedicaba a sus estudios de medicina, pero ya empezaba a aceptar que este nunca sería médico: carecía del temperamento adecuado. Cuando la corte volvió a Florencia, Vincenzo abordó a Ricci y le preguntó si podría dar lecciones a Galileo. Ricci comenzó su instrucción con Euclides y Arquímedes. La claridad y el rigor de las argumentaciones de Euclides fueron una revelación para Galileo. Mientras que las argumentaciones escolásticas tradicionales apelaban a autoridades establecidas como la de Aristóteles, la autoridad para Euclides era la verdad, y solo esta se consideraba suficiente para probar sus proposiciones. En sus *Elementos* Euclides sentó las bases de la geometría y esbozó el método que habrían de adoptar los matemáticos. Comenzando por las definiciones más

simples y evidentes en sí mismas (el punto, la línea) procedía luego a los teoremas, demostrando rigurosamente cada uno, que partía del anterior y así sucesivamente, construyendo de este modo el irrefutable edificio de la geometría.

Tras Euclides vino Arquímedes, que había muerto en el año 212 a.C. Galileo reconoció enseguida qué clase de finura mental distinguía al antiguo griego: «Los que lean sus obras percibirán muy claramente la inferioridad de las demás mentes». Fue el mayor matemático de todos los tiempos, pero se trataba de algo más que un simple teórico brillante. Además de impulsar el avance de la numerología y calcular las propiedades de los sólidos parabólicos, Arquímedes fue también pionero de la estática, fundador en solitario de la hidrostática, fabricante de poleas e inventor de una bomba de agua.

Galileo no tardó en demostrar su talento excepcional en la esfera práctica. Como reza la historia muchas veces contada, un domingo, mientras escuchaba un largo sermón en la catedral de Pisa, se sintió intrigado por el balanceo de una lámpara sujeta al techo por medio de un largo alambre. Se percató de que la lámpara siempre tardaba el mismo tiempo en completar una oscilación, sin importar la amplitud del arco descrito en cada balanceo. En un arrebato de inspiración Galileo se dio cuenta de que se comportaba como el pulso. En cuanto llegó a casa construyó un péndulo con un hilo y una pesa de plomo. Realizó una serie de experimentos con diferentes pesos y diferentes longitudes de hilo. A partir de estos experimentos fabricó un aparato que podía usarse para tomar el pulso a un paciente. Lo mostró a algunos miembros del departamento de medicina de la universidad y quedaron tan impresionados que le robaron la idea de inmediato. Lo que obtuvo Galileo del *pulsilogium,* como vino a llamarse, fue un cierto renombre local. Cuando empezó a usarse en muchas otras ciudades italianas, Galileo no recibió dinero ni tampoco crédito por el invento. (El concepto de ley de patentes era todavía ajeno a la Italia del siglo XVI. El secreto, el plagio, el espionaje y la falsificación se consideraban parte del proceso de manufactura.)

Como resultado de esta práctica comercial, más otras a las que se entregaba Galileo en las tabernas, se le acabó el dinero. En 1685, después de cuatro años de universidad, volvió sin título a su casa de Florencia. Pero la falta de titulación no era suficiente para desanimar a alguien con tanta confianza en sí mismo. Se estableció enseguida como matemático, dando clases particulares cuando y donde podía. Al principio, comprensiblemente, los interesados eran pocos y Galileo tuvo incluso que recurrir a dar clases en su antigua escuela de Vallombrosa.

Un tiempo después, Vincenzo consiguió tirar de algunos hilos en la corte y Galileo pudo dar lecciones ocasionales en la prestigiosa Academia de Florencia. Esta había sido fundada en la década de los sesenta del siglo XVI por el primer gran duque de Toscana de la familia Médicis, Cosme I (no confundir con el gran banquero y mecenas Cosme *pater patriae,* fundador de la dinastía Médicis, quien gobernó la ciudad durante los inicios del Renacimiento, en el siglo anterior). La Academia seguía sosteniendo los más nobles ideales renacentistas. Su meta era el «hombre universal», dueño de un conocimiento que abarcara toda la esfera del saber, una amplitud completada con la profundidad de su

sabiduría.

Para el año 1585, Cosme I había sido sucedido por su hijo Francisco I, a quien interesaban especialmente las nuevas ciencias. Tenía su propio laboratorio privado en el palacio de los Médicis, donde se dice que realizó el primer intento de fundir cristal de roca con éxito. Por desgracia, su habilidad científica solo era igualada por su credulidad. Francisco I creía en los remedios de los charlatanes que, fiel a la mejor tradición científica, insistía en experimentar sobre sí mismo. Moriría en 1687 al intentar curarse una fiebre con un remedio que, según el biógrafo de Galileo, James Reston, «fue extraído de los lagrimales de un cocodrilo y mezclado con secreciones de puercoespín, cabra peruana y gacela india». Su muerte fue larga y dolorosa como era previsible.

Mientras tanto, el padre de Galileo seguía envuelto en controversias sobre teoría musical. Vincenzo inició algunos experimentos con el fin de desacreditar la teoría matemática medieval de la armonía. Para ello recurrió a la ayuda de su hijo, con el que realizó una serie de pruebas con instrumentos de cuerda. Lo que se pretendía era mostrar que la consonancia no dependía meramente de las longitudes numéricas de las cuerdas. Estos experimentos, y la metodología de su padre, tuvieron profundos efectos sobre Galileo y le permitieron comprender la necesidad de contrastar las reglas matemáticas con la observación de los fenómenos físicos. Aquí veía las pruebas que tanto había admirado en Euclides transferidas a la práctica.

La admiración de Galileo por los antiguos seguía intacta, pero no era nada propenso a la reverencia acrítica. Por esta época publicó una obra breve titulada *La Balancietta.* En ella describió el famoso experimento hidrostático realizado para determinar la cantidad de oro y plata empleadas en la manufactura de la corona de oro del rey Hierón (que según el fraudulento orfebre era de oro macizo). Después, Galileo tuvo la audacia de hacer mejoras sobre el experimento de Arquímedes, describiendo un método mucho mejor para determinar las proporciones de los distintos metales, empleando una balanza hidrostática de su propia invención. La balanza, conocida como *balancietta*, era un instrumento extremadamente delicado del mayor refinamiento técnico, capaz de detectar diferencias minúsculas de peso. Característico tanto de su época como de su inventor, era también un instrumento de gran belleza. Como su anterior *pulsilogium,* causó gran asombro a lo largo y ancho de Italia, pero una vez más la recompensa de Galileo fue una fama pasajera y no la fortuna. (Cada vez era más obvio su anhelo tanto de gloria como de riqueza.)

A estas alturas Galileo ya había advertido que el único modo de conseguir la seguridad económica era obtener un puesto de profesor de matemáticas en alguna universidad, una meta inusual para alguien que no había obtenido el título. Por desgracia tales puestos escaseaban y las vacantes eran raras, pues las matemáticas seguían siendo poco valoradas por los académicos aristotélicos. Eran vistas como poco más que una materia auxiliar de la astrología.

Incluso la Academia de Florencia conservaba una actitud curiosamente medieval hacia el saber. La gran cuestión del momento en los días de Galileo era la localización y dimensiones del infierno de Dante, que describió este submundo puramente poético con

cierto detalle y dejó caer imaginativas pistas acerca de su localización y sus proporciones. Estas fueron tomadas por la Academia en sentido literal en lugar de literario. El departamento de literatura carecía de los conocimientos geográficos y matemáticos necesarios para solucionar el enigma, con lo cual la cuestión quedó abierta a todas las facultades. Siempre valeroso y dispuesto, Galileo anunció que daría una conferencia pública en la que revelaría las dimensiones y localización geográfica exactas del escurridizo infierno. Muchos han considerado esto como un mero nuevo intento de Galileo de llamar la atención, una oportunidad de brillar ante el gran duque y quizá ganarse un poderoso mecenas, pero esta no es toda la verdad. Galileo creía realmente en la existencia del infierno de Dante.

En muchos aspectos Galileo seguía siendo un hombre medieval. Su aceptación del pensamiento de la época, la autoridad de la iglesia e incluso de los cuentos de hadas literarios no se vio sacudida por su creciente conciencia científica. Su desprecio hacia la autoridad se restringía al único terreno en el que sabía lo que decía y sus oponentes no. En su mente coexistían lo medieval y lo moderno. De hecho, este conflicto entre dos mundos que no encajaban puede muy bien haber sido una fuente de estímulo. Shakespeare, contemporáneo de Galileo, tenía una mente similarmente dividida, y una actitud aun más esquizoide es manifiesta en su sucesor Newton, cuyo logro intelectual supremo fue mantener una firme creencia tanto en el mundo matemático de la astronomía como en el mundo mágico de la alquimia.

El discurso de Galileo a la Academia de Florencia, pronunciado en el salón del palacio de los Médicis en 1588, es una muestra indicativa de su visión contradictoria del mundo. Acepta sin reservas la autoridad de la mente medieval de Dante, pero somete su texto al escrutinio de la nueva mentalidad rigurosa y científica. Así, Galileo calculó que el infierno tenía forma de cono invertido y ocupaba una doceava parte del volumen terrestre bajo la superficie que ocupaba Jerusalén. Por si esto resultara demasiado vago, esbozó un cálculo del tamaño de Lucifer, enteramente basado en los datos contenidos en el poema («[…] por tanto podemos concluir que Lucifer tenía una altura de 1.935 brazos»).

Este ingenioso montón de paparruchas fue bien recibido por los miembros de la Academia, y Galileo consiguió lo que buscaba. El director le aseguró que podía contar con su apoyo cuando solicitara el puesto de profesor de matemáticas en Bolonia.

El puesto había quedado vacante a la muerte de Ignazio Danti, detentador también del puesto de cosmógrafo papal, prácticamente el único de carácter científico de toda la jerarquía eclesiástica. Era un puesto relevante, pues habría sido difícil para la iglesia negar la existencia de China y América por mucho que no aparezcan mencionadas en la Biblia ni en las obras de Aristóteles. Danti incluso había diseñado un trazado de ladrillo del nuevo meridiano pontificio sobre el suelo de piedra de su cámara, en lo alto de la Torre de los Vientos del Vaticano. Los marinos que empleaban el meridiano para navegar por zonas lejanas, y hasta algunos observadores europeos, pronto percibieron que las estaciones del año iban desfasándose respecto del calendario. En consecuencia, en 1582 el papa introdujo el calendario gregoriano, que adelantaba la fecha en diez días.

(La progresiva adopción del calendario por toda Europa en los años siguientes provocó motines en los que multitudes furiosas exigían la devolución de los diez días arrebatados a sus vidas.) La valerosa introducción del calendario gregoriano es una muestra de cómo podrían haber ido las cosas. Aquí la iglesia iba por delante del pensamiento contemporáneo, lo cual quizá indica que el conflicto que se avecinaba entre iglesia y ciencia fue innecesario y podría haberse evitado.

Al morir Danti, Galileo solicitó enseguida el puesto de profesor de matemáticas en Bolonia, pero fue rechazado. Ello supuso un duro golpe. No mermó su confianza en sus capacidades, pero le sirvió de muy necesaria lección sobre las realidades sociales. Para tener éxito hacía falta un protector poderoso, sin importar lo capaz que fuera uno.

Galileo decidió pedir a su padre que empleara su influencia en la corte. Estaba convencido de que si se le concedía una audiencia privada con el gran duque Francisco I, seguro que podría persuadir a este colega científico de que se convirtiera en su mecenas. Antes de que Vincenzo pudiera hacer ninguna gestión, el científico gran duque había sucumbido agonizante a la propia ciencia, o al menos a su vitriólica versión de la misma. A Francisco I le sucedió un hermano más sensato, Fernando I. El círculo de Francisco fue purgado a conciencia de la corte: se despidió a los asesores de confianza, se desterró a los proveedores de medicinas exóticas, e incluso los teóricos de la música amigos de polémicas perdieron el favor recibido. Vincenzo era ahora demasiado viejo para dar clases, y se retiró en abyecta desgracia.

Galileo se dio cuenta de que tendría que buscar mecenas en otra parte. ¿Pero dónde? Su comportamiento arrogante no había hecho de él una figura popular en la escena social, y en la científica tenía solo unos pocos admiradores, estos, con poca relevancia social. Galileo siguió con la enseñanza y llegó incluso a desplazarse hasta Siena para dar conferencias públicas. En privado, sus estudios matemáticos estaban llegando a la madurez. Había estudiado las obras de Arquímedes *Del equilibrio de los planos* y *De conoides y esferoides*. La primera era la obra seminal de la mecánica en la que Arquímedes formuló su «ley de la palanca»; en la segunda puso en práctica la ley que determina el centro de gravedad de una serie de paraboloides (el sólido formado al rotar una parábola sobre su eje). Genio y figura, Galileo se propuso aventajar a su héroe con el hallazgo de una manera práctica y original de descubrir el centro de gravedad de diversos esferoides. Galileo tardaría muchos años en publicar estos trabajos, pero circularon en forma manuscrita entre matemáticos de toda Italia, algunos de los cuales quedaron tan impresionados que tildaron a Galileo de «nuevo Arquímedes». Uno de ellos fue un marqués toscano llamado Guidobaldo del Monte, quien solo un año antes había publicado un extenso tratado de mecánica. Guidobaldo no era ningún diletante matemático (su tratado sería la obra fundamental sobre mecánica durante el siglo siguiente), y también estaba interesado en el centro de gravedad de los sólidos. Galileo fue a visitar a Guidobaldo y no tardaron en hacerse amigos. Compartieron sus hallazgos sobre la determinación de los centros de gravedad y Guidobaldo, muy impresionado, llamó la atención del nuevo gran duque de Toscana sobre la persona de Galileo.

El interés de los mecenas aristocráticos tiende a ser volátil, pero este no habría de ser

el caso de Guidobaldo. Galileo había encontrado al fin un padrino constante y firme en su apoyo. Al quedar vacante el puesto de profesor de matemáticas en Pisa, Guidobaldo recomendó a Galileo de inmediato, y fue aceptado. Galileo reaccionó con júbilo. Al fin lo había conseguido. Solo después descubrió que su salario era de solo 60 coronas, más o menos lo que ganaba un tendero, y apenas suficiente para mantener a un hombre de las crecientes aspiraciones, apetitos y tamaño de Galileo.

La Universidad de Pisa no estaba preparada para el regreso de su díscolo hijo. El nuevo profesor de matemáticas (que no había logrado obtener un título en esta misma universidad) llegó con renovada confianza en sí mismo. Con sus 25 años, su abundante cabello rojo y su gusto por la controversia, se convirtió rápidamente en una figura popular, al menos entre los estudiantes. Las autoridades universitarias eran en su mayoría frailes de irrecusable ortodoxia y mediocridad. Galileo rechazaba su apatía tanto como su jerga aristotélica. También su atuendo académico. Siempre desaliñado, se negaba a llevar la toga. Llegó a componer una cancioncilla estudiantil sobre el asunto:

> Ponte solo la toga
> si eres un tonto que tuerce la boca,
> es el uniforme de las escuelas
> que deben obedecer las reglas,
> no entrarás en el burdel
> si eres como él…

A las autoridades no les hizo gracia.

Quizá fue durante este periodo cuando Galileo realizó su legendario experimento desde lo alto de la torre inclinada de Pisa, que confirmó su intuición previa acerca del granizo. Dejó caer dos objetos del mismo material y diferente peso, y cayeron a la misma velocidad. El más pesado no cayó a mayor velocidad, como debería haber hecho según Aristóteles.

El episodio es coherente no solo desde un punto de vista científico, sino también con la personalidad del protagonista, aunque la evidencia de que realmente tuviera lugar es tan nebulosa como la teoría que pretendía desacreditar. Aunque solo sea por su ejemplaridad merece consideración. Galileo quiso realizar una demostración pública de un error de Aristóteles, lo que ya es de por sí significativo dado que las enseñanzas de Aristóteles se consideraban como de una pieza, científicamente hablando. Cada elemento, cada ley, cada suposición se tenían por conexas entre sí. Al demostrar la falsedad de una de las partes, Galileo parecía sugerir la falsedad del todo, aunque no fuera esa su intención.

Como veremos, Galileo no pretendía tal osadía. A lo que se oponía en realidad era a la actitud aristotélica de fondo. La ciencia trata de los fenómenos de la realidad, y estos son mejor aprehendidos por la experiencia que por principios del pensamiento. Primero debía venir el experimento y, solo después, debía seguir la teoría. Llegados a este punto conviene señalar que Galileo nunca llegó a descubrir *por qué* los dos cuerpos caían a la misma velocidad. Esto no fue explicado hasta un siglo más tarde, cuando Newton

formuló su ley de la gravedad: todo cuerpo en el universo atrae a otro a una fuerza que varía en proporción directa a sus respectivas masas y de modo inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. El mérito de Galileo es que recurrió a los resultados de la experiencia en lugar de a la teoría.

La trascendencia de lo que Galileo estaba haciendo era mucho más radical de lo que él estaba dispuesto a admitir, incluso para sus adentros, al menos en un comienzo. Pese a sus alardes públicos desde la torre inclinada, siguió dando lecciones sobre la física de Aristóteles. Esto no respondió a una actitud hipócrita ya que, en gran parte, parece haber creído en lo que enseñaba. Tomemos su visión del universo, por ejemplo. Copérnico había publicado ya en 1543, su propia teoría, en la que describía cómo los planetas giraban alrededor del Sol. Es seguro que Galileo sabía de esto, pero seguía creyendo en el modelo aristotélico establecido por Ptolomeo, con la Tierra firmemente colocada en el centro del universo y el Sol, la Luna y los planetas orbitando a su alrededor.

En este periodo Galileo creía en Arquímedes y Aristóteles. Podía ver que había discrepancias entre la postura esencialmente científica de Arquímedes y la esencialmente filosófica de Aristóteles, pero estaba seguro de que un día se podrían reconciliar. Fue también por estos años cuando Galileo escribió su primera obra relevante, *Sobre el movimiento (De Motu)*. En su discurso a la Academia de Florencia sobre el infierno de Dante, había aplicado la ciencia a la literatura. Esta vez invirtió el proceso, pero con idéntica motivación. La combinación de las dos atraía a un público más amplio. Galileo era ambicioso y quería publicidad.

De Motu cuenta la historia de dos amigos, Alejandro y Domenico, que se encuentran a las orillas del Arno una mañana de invierno. Deciden bajar por la ribera hasta el mar, a unos nueve kilómetros, para comprar pescado para el almuerzo. Mientras pasean ven a un hombre en una barca remontando la corriente, lo cual da pie a una discusión sobre el movimiento. Galileo pone sus ideas en boca de Alejandro, pero en esta obra primeriza están expresadas en una forma prosaica poco característica de Galileo, sin el vigor y el ingenio típicos de su auténtica personalidad.

Habiendo prescindido de la noción aristotélica de que los cuerpos de diferente peso caen a diferente velocidad, Galileo proponía ahora una explicación diferente, basada en las conclusiones del experimento de la torre inclinada. Aquí Galileo puso en práctica lo que habría de ser su otro gran método científico: su habilidad para aprovechar las ideas de otros. En realidad, la explicación de Galileo de cómo cuerpos de diferente peso caen a la misma velocidad había sido propuesta casi 40 años antes por el físico veneciano Battista Benedetti (quien a su vez la «adaptó» a partir del principio de flotabilidad de Arquímedes). Galileo conocía sin duda el trabajo de Benedetti, su predecesor más ilustre en el campo de la física renacentista.

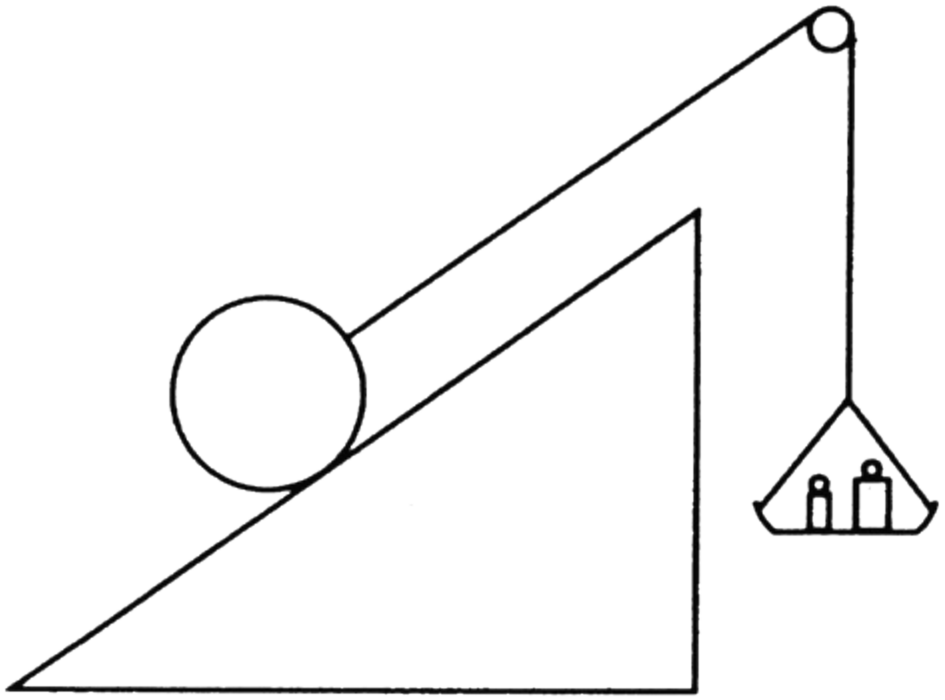
Benedetti tenía, como Galileo, una mentalidad dividida que nadaba entre dos aguas: las ideas medievales y las renacentistas. Era un científico de primera y un as de la astrología. Predijo su fallecimiento para el año 1592, pero se encontró en su lecho de muerte en 1590. Consiguió detectar un error en sus anteriores cálculos, lo cual le permitió morir con su fe zodiacal intacta. Ocasionalmente, también Galileo daría

muestras de parecida alegría y desparpajo a la italiana a la hora de lidiar con las discrepancias.

Galileo estableció tres leyes del movimiento:

1. Todos los cuerpos caen de una misma altura en tiempos iguales.
2. Al caer los cuerpos, su velocidad total es proporcional al tiempo de caída.
3. El espacio recorrido por los cuerpos es proporcional al cuadrado de los tiempos.

Galileo demostró estas leyes con sus experimentos sobre planos inclinados:



En el mecanismo ideado por Galileo, la bola se mueve por un surco del plano inclinado, con el fin de minimizar el rozamiento. La inclinación del plano es indiferente. Sea cual sea la inclinación y, por tanto, el tiempo invertido, las leyes se cumplen.

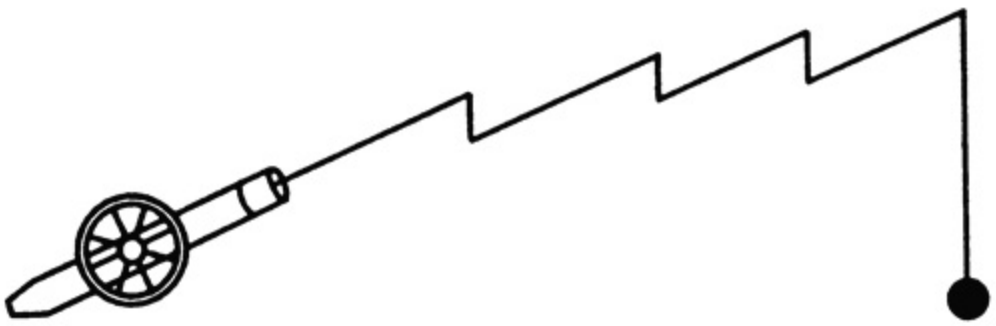
Según Aristóteles, un peso de diez unidades tardaría una décima parte del tiempo invertido por un peso de una unidad. Los experimentos de Galileo demostraban simplemente que no es así. Pero los aristotélicos seguían sin convencerse. La naturaleza se derivaba de la perfección (perfección de las ideas, abstracción), por lo cual *tenía* que obedecer a las leyes perfectas de Aristóteles. Los experimentos de Galileo eran, en el mejor de los casos, una anomalía, quizá nada más que un truco. Entretanto, los que preferían ceñirse a la realidad señalaron que los experimentos de Galileo no encajaban *del todo* con sus leyes ya que se observaban ligeras discrepancias. Estas se debían, en realidad, a que Galileo aún no comprendía muy bien el principio de aceleración. No pudo evitar advertirlo en sus experimentos sobre el plano inclinado, pero creyó que no se

produciría en la caída libre. Evitó el problema de lo que *parecía* ser una aceleración de los cuerpos en este caso explicándolo como una «fuerza residual impulsora» decreciente. Esta es una noción que tomó del antiguo astrónomo griego Hiparco de Rodas, que vivió en el siglo II a.C. y cuyas ideas empezaban a circular en la Italia renacentista como parte de la recuperación de la cultura clásica (para hacernos una idea más cabal de las dimensiones de dicha tendencia, consideremos que muchas de las ideas científicas de Hiparco, sobre todo las relacionadas con la astronomía, seguían siendo más avanzadas que las que se aceptaban en Italia a finales del siglo XVI).

Claro que había otra razón por la que los cuerpos no caían *exactamente* a la misma velocidad. Era la resistencia del aire. Galileo era consciente de ello y sugirió que una equivalencia exacta solo podría tener lugar en el vacío. (Esto fue confirmado con vehemencia en 1969 por el astronauta Neil Armstrong. Sobre la superficie de la Luna dejó caer un martillo y una pluma. Ambos alcanzaron el suelo a la vez, y Armstrong comentó: «¿Véis?, Galileo tenía razón».)

Mediante el empleo de aparatos similares a los del dibujo anterior, Galileo dedujo una ley que gobernaba el equilibrio de pesos sobre planos inclinados (es decir, cuando la situación es estática y los respectivos pesos se equilibran el uno al otro). Curiosamente, la idea de Galileo sobre fuerzas estáticas casi anticipó la tercera ley del movimiento de Newton, que afirma que cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, este último ejerce una fuerza igual y en sentido contrario (de reacción) sobre el primero.

La reciente introducción de la pólvora, procedente de China, había estimulado el interés por el estudio de los proyectiles. Para que la artillería dejara de ser una práctica aproximativa y bastante chapucera era necesario poder predecir la trayectoria de los proyectiles. Según Aristóteles, la trayectoria de un proyectil era resultado de dos tipos de movimiento, el forzado y el natural. El primero sería el inducido por la pólvora, el segundo tiraba «naturalmente» del proyectil hacia la tierra.



Galileo pudo demostrar que según sus leyes el proyectil seguía una trayectoria parabólica.

Claro que esto es obvio para cualquiera que haya tirado una piedra y observado su trayectoria ascendente por el aire y descendente sobre el tejado del invernadero. Entonces, ¿cómo demonios pudieron los teóricos seguir manteniendo la tesis de Aristóteles durante casi 2.000 años? En gran parte se debió a la actitud prevalente hacia el mundo y al conjunto de la estructura de pensamiento adoptada por la mentalidad medieval. Según esta manera de pensar, el mundo se conformaba de acuerdo a las ideas, y la práctica de acuerdo a la teoría. La verdad se derivaba de la autoridad de las ideas. Las ideas de Aristóteles eran correctas, y por tanto los fenómenos *tenían* que responder a ellas. Cuando esto parecía no ser el caso, se debía a la ilusión o a la perversidad (ya fuera del observador o del propio mundo). El colapso de esta mentalidad –o *episteme* en la jerga estructuralista– constituyó el comienzo de la era científica moderna. Ahora la verdad se fundaba en la experiencia, experimento, datos, realidad –que ahora era la verdad–. De aquí en adelante la teoría tendría que venir después. Galileo habría de ser una figura central en la creciente, aunque por lo general no reconocida, revolución que estaba teniendo lugar.

No obstante los diversos préstamos, *De Motu* era más original que cualquier otra concepción contemporánea de la cuestión del movimiento. Aquí estaba por fin la obra que podía traerle fama, riqueza, la admiración de los colegas, el amor de hermosas mujeres y todo lo demás: las cosas con las que soñaba todo científico (esto se refiere solo a los científicos del Renacimiento, claro). Pero Galileo nunca publicó la obra. ¿Por qué?

Hubo varias razones y, curiosamente, el temor a las acusaciones de plagio no parece haber figurado entre ellas. Para empezar, estaban esas pequeñas y molestas incongruencias entre sus leyes y los datos experimentales. Tenía que haber un modo de conciliarlos, estaba seguro, pero aún no lo había encontrado. De todas formas, la principal razón para no publicar *De Motu* se debe a algo más fundamental en la personalidad de Galileo. Tenía miedo. Como tantas grandes personalidades, era presa de dudas e incertidumbres. Por mucho que manifestara una actitud desdeñosa hacia sus colegas académicos por ser mediocres y estrechos de miras, no dejaba de ansiar secretamente su reconocimiento. Le asediaba el inconfesable temor a que su obra cayera en el ridículo, haciéndole quedar como mero objeto de mofa. Galileo aspiraba a ser tomado en serio, cosa más bien difícil para un hombre de su comportamiento y costumbres. No querer llevar toga para impedir que le negaran la entrada en los burdeles no era precisamente la clase de comportamiento que podía hacerle ganar el aprecio de sus sacerdotales y académicos colegas. Tales contradicciones nunca estuvieron muy lejos de aflorar a la superficie en la personalidad de Galileo, y habrían de desempeñar un

papel cada vez más crucial en sus reacciones ante el mundo y las de este hacia él.

En 1591 murió el padre de Galileo, dejando la familia a su cuidado: seis hermanos y hermanas y una madre anciana y gruñona. A su hermana mayor, Virginia, le habían prometido una buena dote, y su hermano Michelangelo se había convertido ya en un desvalido músico regularmente necesitado de «patrocinio». Entretanto, su madre insistía en mantener la casa familiar de Florencia, cuyos gastos eran una sangría constante. Galileo ya derrochaba su miserable salario satisfaciendo su gusto por la experimentación en los campos culinario y amatorio, tanto como en el científico. Para empeorar las cosas, ahora tenía pocos amigos en Pisa. Se había apartado de sus compañeros de profesión, y lo que era más grave, había exasperado también a las autoridades con sus críticas a un plan de dragado del puerto de Livorno trazado por Giovanni de Médicis, hijo natural del gran duque. Giovanni diseñó una máquina de dragado grande y compleja que Galileo calificó de inútil. No hace falta decir que su situación no mejoró cuando la máquina terminó de construirse y resultó ser exactamente eso. A Galileo nunca se le dio bien mantener la boca cerrada.

En 1592 la Universidad de Pisa decidió no renovar su contrato de tres años. Por suerte, en esos mismos días quedó vacante la cátedra de matemáticas de Padua. Galileo se presentó como candidato, recomendado una vez más por su aristocrático y científico mecenas, Guidobaldo del Monte. Su solicitud tenía también el respaldo del gran duque de Toscana y de las autoridades de la Universidad de Pisa, que evidentemente tenían sus propias razones para desear su marcha. Galileo consiguió el puesto.

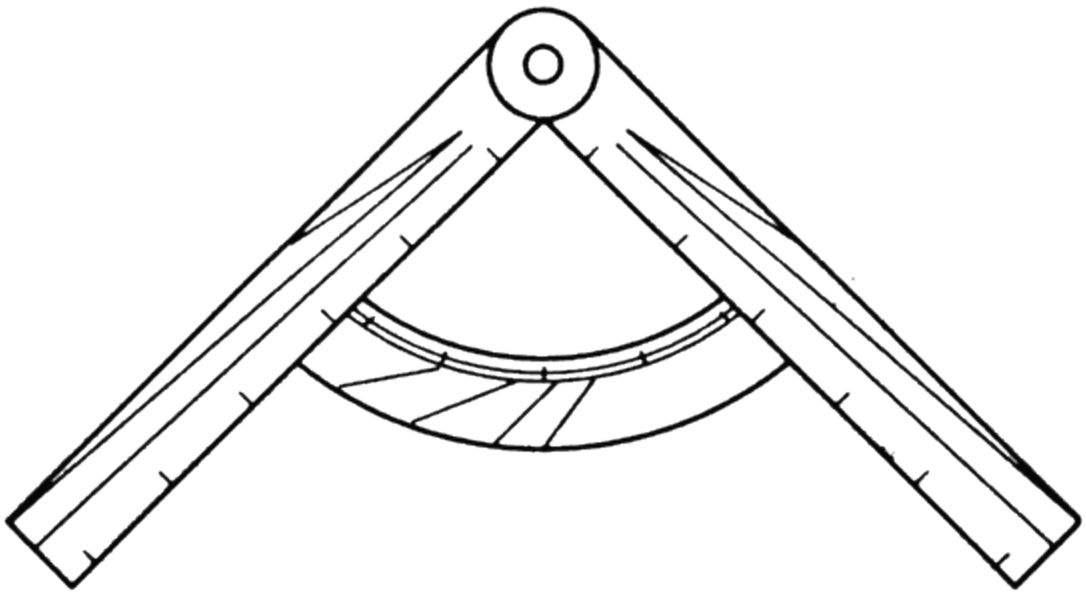
La Universidad de Padua era por aquel entonces una de las mejores de Europa, y atraía estudiantes de partes tan lejanas como Alemania, Polonia e Inglaterra (Shakespeare obtuvo su información para ambientar obras en Italia de uno de estos estudiantes). Padua formaba parte del dominio de la República de Venecia, cuya prudente práctica era no interferir en los asuntos universitarios. En estos días Venecia era un lugar civilizado y tolerante, relativamente libre del carácter inestable y testosterónico que viciaba la vida política de otras repúblicas renacentistas. No en balde se conocía como *La Serenissima* (fue aquí donde Casanova aprendería su oficio, hasta que su comportamiento monótono e incesante le hizo dar con sus huesos en una cama individual, en una mazmorra individual).

Venecia era también la capital de un gran imperio marítimo en el Mediterráneo oriental que incluía las islas jonias, Creta y, anteriormente, Chipre. Esto daba a la ciudad un aire cosmopolita que Galileo encontró muy de su gusto. Padua está solo a unos 30 kilómetros tierra adentro, y pronto Galileo empezó a pasar sus fines de semana saboreando las delicias de la cultura veneciana, tanto alta como popular. Pero no todo fueron juergas. La situación de su familia le suponía una estrechez económica permanente. Además, con los años y sus escapadas desde Pisa había acumulado deudas considerables en Florencia. Su madre le escribió advirtiéndole que uno de sus acreedores «amenaza con cargarte de cadenas y meterte en prisión por tus deudas en cuanto pises la ciudad». Para complementar sus ingresos universitarios Galileo volvió a dar clases particulares, y puso también en práctica sus habilidades técnicas como asesor en varios

proyectos de ingeniería e ideando una serie de inventos. Dejó escritas instrucciones sobre cómo mejorar las almenas, diseñó una lámpara de aceite para su uso en las fortalezas, e inventó el primer termómetro. Este era un mecanismo sencillo hecho a partir de una cubeta que se calentaba a mano, dentro de la cual el aire se expandía desplazando el agua por un tubo delgado. Como ocurre muchas veces con los inventos geniales, de tan simples parecen obvios (después). El termómetro empleado en la actualidad no hace más que añadir algunos refinamientos, como el mercurio, de gran capacidad expansiva, y tubos más finos.

Galileo estaba por delante de su tiempo. Estos inventos nunca llegaron a reportarle los beneficios que esperaba. Descorazonado, pidió consejo a Guidobaldo del Monte, y esta vez tampoco le falló. El hermano de Guidobaldo era general del ejército veneciano, y estaba cada vez más harto de la imprecisión de su artillería. ¿Le sería posible a Galileo diseñar algún instrumento de peso reducido que sirviera para calcular las trayectorias de los proyectiles y ajustarlas a la distancia y elevación de los objetivos?

De nuevo Galileo produjo un diseño de simplicidad deslumbrante. Su «compás geométrico y militar» era una obra maestra con multitud de aplicaciones tanto militares como civiles. Consistía básicamente en dos reglas de bronce con líneas grabadas unidas por una bisagra, con un cuadrante inferior, también grabado con líneas.



Para calcular la trayectoria de un proyectil, se colocaba una de las reglas dentro del cañón del arma. Entonces el oficial artillero alineaba las reglas y leía el alcance del proyectil. Esto se podía hacer desde un lado del cañón en vez de delante de él, refinamiento de la técnica que habría de salvar muchas vidas de oficiales artilleros en esta era de cañones (y operarios) más bien impredecibles. Entre las aplicaciones civiles del invento de Galileo, hoy conocido como sector, cabe destacar las geométricas, pues

servía para cuadrar círculos, describir polígonos regulares o dividir circunferencias en partes iguales. También podía usarse para descubrir los pesos proporcionales de los metales, para transformar un cuerpo determinado de un metal en un cuerpo de otro metal con un peso similar, para hallar raíces cúbicas (y hasta para convertir paralelepípedos en cubos, si alguien llegara a requerir tan útil servicio).

Por fin Galileo tenía un éxito entre manos. Se hizo socio de un fabricante de herramientas local llamado Marco Antonio Mazzoleni y empezaron a producir en masa. En 1600 Galileo ya tenía a Mazzoleni instalado en su casa, con su mujer de cocinera y ama de casa y la planta baja del inmueble convertida en taller de manufactura de compases militares. Exportaron el invento a toda Italia, y Galileo decidió escribir un manual explicando sus diversos usos. Mazzoleni fabricó más de 100 unidades del compás geométrico y militar, que Galileo vendía a 50 liras la pieza (instrucciones no incluidas). El coste de producción era de solo unas 15 liras. Según las cuentas de Galileo, parece que Mazzoleni cobró menos de un octavo de lira al mes, lo cual parece sugerir que su asociación tenía un carácter algo desigual. Pero todo esto contribuyó a dejar un buen margen de beneficio, al menos para el inventor-jefe-supervisor. Entonces vino el desastre. La actitud de Galileo ya había logrado crearle enemigos en el campus de Padua y su incursión entusiasta en el mundo del comercio provocó que se torciera más de un gesto. Pero otros reaccionaron con algo más que desaprobación. Se preparó una conspiración contra él. Nada más publicar el manual de instrucciones del compás fue acusado de plagio. Galileo no podía creerlo. Luego y a su pesar, descubrió que un cierto Baldassare Capra ya había publicado un manual para un compás geométrico y militar idéntico.

Galileo estaba fuera de sí. Si Capra ganaba la demanda por plagio, su única empresa de éxito habría llegado a su fin. Recurrió a las autoridades universitarias, que decidieron tomar la cuestión muy en serio (de nuevo, quizá por sus propios motivos, sobre todo ahora que Galileo parecía ser la parte culpable). Tras una serie de investigaciones se descubrió que Baldassare Capra era un joven de 17 años que había sido alumno de Galileo y aprovechó la ocasión para estudiar el manual manuscrito de este. Era evidente que Capra era solo un chivo expiatorio. Su libro resultó ser una versión latina apenas disimulada de la obra de Galileo (escrita en italiano). El montaje se vino abajo y Capra huyó de la República para refugiarse en su ciudad natal, Milán. A Galileo se le pasó el susto, pero jamás olvidó el incidente. Más tarde, 25 años después, cuando ya era famoso en toda Europa y Capra vegetaba en la oscuridad a la que aspiraba, Galileo todavía expresaba su «resentimiento y protesta» en su obra a causa del asunto.

Por los mismos años en que inventó el compás militar, Galileo inventó también una bomba de agua que funcionaba con la ayuda de un caballo. Con ella se podía drenar una gran extensión de tierra y distribuir el agua entre más de una docena de canales de irrigación. Galileo tenía grandes esperanzas puestas en la máquina, y confiaba en que pronto se utilizaría en todo el delta del Po, donde se había introducido y extendido el cultivo del arroz, traído desde China hacía aproximadamente un siglo. Galileo registró la patente con las autoridades venecianas, una de las primeras patentes comerciales de estas

características que se concedieron. Pero fue en vano. Esta vez nadie se interesó. El prototipo de la ingeniosa bomba y máquina de riego de Galileo acabó vendido por cuatro perras a un aristócrata local que lo utilizó para regar el jardín.

Pese a los reveses, la vida en Venecia siguió siendo muy del gusto de Galileo. Disfrutaba de la animada vida social, y gracias a ella conoció a un noble de 25 años que habría de ser un amigo para toda la vida. Gianfrancesco Sagredo quizá fuera diez años más joven que Galileo, pero era un hombre hecho a su medida: tenía un carácter tremendamente vital con múltiples facetas, brillante pero con interesantes defectos. Su familia era distinguida. Incluía un cardenal, un embajador en París, el consabido santo (de rigor en las mejores familias) y un idiota encerrado en un cuarto oscuro (otro *sine qua non*). El propio Sagredo ocupaba un palacio gótico rosa con ventanas de cristal rosado en el Gran Canal cerca del puente Rialto. Dentro del palacio, extraños perros lobo pateaban las amplias escalinatas de mármol, los loros aleteaban y graznaban por pasillos tapizados y las mejores cortesanas de Venecia eran entretenidas en habitaciones amuebladas para ese único propósito («La suite Claudia», etc.). Esporádicamente Sagredo asumía algún puesto oficial menor –una misión diplomática, un puesto temporal como gobernador, encabezar un comité–, pero por lo general prefería dedicarse a sus propios intereses de tipo científico.

He aquí un hombre al que le gustaban el vino, las mujeres y la ciencia. Galileo estaba encantado. En pocos meses eran ya como hermanos y Galileo se convirtió en un habitual de las juergas de fin de semana en el palacio de Sagredo.

Los tratados científicos de Galileo se beneficiaron de los ademanes literarios de Sagredo, y aprendió a sazonar sus especulaciones científicas con toques de ingenio. Galileo siempre había aspirado a la gracia literaria, pero el estilo no acababa de encajar con el hombre. Ahora el estilo algo rígido de *De Motu* se convirtió en cosa del pasado. Sus cartas, sus tratados, incluso sus apuntes no volverían a ser iguales.

La siguiente obra importante de Galileo fue *La Mecánica (La Meccaniche),* que es en realidad poco más que un compendio de las notas que usaba para impartir sus clases. Aquí desarrolla varias de las ideas presentes en *De Motu,* que siguió elaborando toda su vida. En lugar de recorrer los meandros de este desarrollo, puede ser más útil entender lo que Galileo finalmente logró en el campo de la mecánica.

Antes de Galileo, no había un concepto claro de la mecánica como tal. Lo que ahora denominamos con ese nombre había consistido en una mera serie de datos y teoremas sin relación entre sí. De nuevo nos encontramos aquí con la figura fundamental de Arquímedes y su obra *Del equilibrio de los planos,* en la que se propugna la «ley de la palanca» y se establece el centro de gravedad de diversas secciones cónicas. Otros pensadores independientes, del antiguo mundo griego en su mayoría, contribuyeron con retazos aislados al saber de la mecánica. Pero no había nada que unificara estos conocimientos para establecer un campo de la mecánica como tal, hasta que Galileo introdujo la noción de fuerza. Aquí estaba la clave de todo. Por desgracia Galileo nunca llegó a formular esta noción en ley alguna que uniera las ideas de movimiento y fuerza (aunque sus trabajos sobre dinámica ofrecen pruebas inequívocas de que era consciente

de la relación entre ellas). Ciertamente, sus investigaciones sobre la caída de los cuerpos, el equilibrio sobre planos inclinados y la trayectoria de proyectiles apuntan aún más lejos.

Como hemos visto ya, el trabajo de Galileo sobre el equilibrio podría sugerir que conocía la tercera ley del movimiento de Newton (sobre la igualdad entre acción y reacción). Tanto su «mejora» de la noción de ímpetu de Arquímedes como sus investigaciones sobre la trayectoria de los proyectiles apuntan también a su probable conocimiento de las leyes primera y segunda del movimiento de Newton (un cuerpo continúa en reposo o en movimiento uniforme mientras no actúe sobre él ninguna fuerza externa; el cambio en la velocidad de un cuerpo en movimiento es proporcional a la fuerza que actúa sobre el mismo). Queda de manifiesto que a estas alturas Galileo había asumido también el concepto de aceleración. Pasaría aún mucho tiempo antes de que Newton formulara estos hallazgos en forma de leyes, en la década de los sesenta del siglo XVII.

El secreto del éxito de Galileo fue otro ramalazo genial, de simplicidad tan brillante que ahora nos resulta obvia. Se trata de la combinación de las matemáticas y la física. Con anterioridad, las dos disciplinas eran tratadas por lo general de manera independiente. Cuando se combinaron –y con la aparición de la noción de fuerza– nació la física moderna. La aplicación del análisis matemático a la física trajo consigo la idea de la experimentación tal como hoy la concebimos, es decir, la ciencia experimental. Con ella, podían elaborarse abstracciones númericas y conceptuales a partir de la experiencia práctica concreta, y permitía comparar los resultados para ver si concordaban unos con otros. Ello permitía formular leyes generales. Galileo llamaba *cimento* (ordalías) a estas pruebas prácticas.

Como sucede con muchos otros logros prácticos de Galileo, otros han reclamado la prioridad en este caso, y no sin razón. Estas ideas estaban «en el aire». La tanto tiempo imperante *episteme* medieval se derrumbaba. La ciencia moderna estaba naciendo por toda Europa en celdas y guaridas aisladas (llamar laboratorios a tales aposentos sería hacerles excesivo favor y daría una impresión errónea. Los científicos no suelen estar adelantados a su tiempo en cuestión de decoración de interiores y el Renacimiento no fue una excepción. Sus lugares de trabajo todavía parecían más inspirados en la mazmorra medieval que en la villa palladiana). Pero decir que estos científicos se adelantaron a su tiempo es poco generoso. De hecho, lo que hicieron fue nada menos que inaugurar una era completamente nueva. Nacía una nueva mentalidad. Muestra de ello es que tenían lugar muchos descubrimientos «simultáneos» sin recurso alguno al plagio. Estaba teniendo lugar un desarrollo ciertamente nuevo. Baste con un ejemplo relevante. Galileo terminó su compás geométrico y militar en 1597. Un año después, el matemático isabelino Thomas Hood, de 38 años de edad, produjo su sector, tan extrañamente similar, en Londres, meses antes de su trágica muerte. Ese mismo año el matemático holandés Dirk Borcouts, que mantenía correspondencia con Descartes, fabricó en Utrecht un sector de bronce que aún puede verse hoy en un museo local.

Galileo era solo la figura fundamental, un hombre que combinaba conceptos de un

modo superior tanto en calidad como en cantidad. Concretamente, le distinguía la aplicación del análisis matemático, la experimentación, la profundidad conceptual (como el concepto de fuerza), una inmensa destreza técnica y unos ramalazos de genialidad que no estaban al alcance de otros científicos de menor entidad. Quizá no fuera siempre el primero en llegar, aún cuando se complaciera en creerlo, pero como veremos, sí era invariablemente el mejor. Galileo se hallaba ahora en el umbral del más espectacular de sus descubrimientos.

Pero antes habría de realizar un descubrimiento de carácter más mundano. En algún momento del año 1599, en una de las fiestas en el palacio de Sagredo, Galileo conoció a Marina Gamba. En el elocuente italiano de la época, Marina era *una donna di facile costume* (una manera elegante de sugerir que se desprendía de sus ropas con facilidad). Era también una belleza de temperamento fogoso. Poco más se sabe de ella, excepto que procedía de los arrabales de Santa Sofía (tras el palacio de Sagredo), que era casi con seguridad analfabeta y que contaba 21 años de edad. Galileo estaba acostumbrado a las mujeres de moral relajada, pero sentía poca inclinación por los vínculos sentimentales. Parece que la vivaracha pero astuta Marina sabía muy bien cómo manejar a Galileo, que contaba 35 años a la sazón, y no tardó en enamorarse de ella. Se convirtió en la concubina de Galileo, que le puso casa cerca del mercado, a la vuelta de la esquina de su casa de Padua. Marina tenía de qué vivir y Galileo perdía su virginidad emocional.

Considerando las costumbres de la época, no podía ni plantearse el matrimonio entre el profesor universitario y la belleza del arrabal. Esto habría provocado más indignación a su alrededor de lo que ninguno de los dos estaba dispuesto a soportar. El suyo era un arreglo habitual en unos tiempos en los que las demarcaciones sociales se consideraban un asunto de la máxima importancia.

En menos de un año Marina tuvo una hija, que fue registrada con la franqueza habitual en la iglesia: «Virginia, hija de Marina, de Venecia, nacida de la fornicación, 13 de agosto de 1600». Galileo y Marina tuvieron tres hijos. Ella nunca tuvo residencia permanente en la misma casa que Galileo, pero sus sirvientes se hicieron padrinos de los niños. La verdad es que parece haber sido un muy buen padre y sus hijos siempre le correspondieron con su afecto.

La única persona descontenta con este estado de cosas era mamá. Que Galileo enviara dinero para mantenerla en Florencia no significaba que pudiera comprar su aprobación. Cuando fue a visitar a Galileo a Padua y se encontró con una Marina ociosa en la cocina, intuyó su situación enseguida. La previa incapacidad de Galileo para comprometerse seguramente se debía al alto grado de compromiso exigido por una madre difícil. Pero ahora era evidente que su lugar había sido usurpado. Su precioso niño de 35 años le había sido arrebatado por una putilla vil y analfabeta. Desde el mismo momento de la llegada de mamá empezaron a saltar las chispas. Marina era dura de pelar, pero mamá no era de las que se achantan y se desencadenó el previsible drama italiano-freudiano. Las discusiones rápidamente se convirtieron en duelos de insultos, y los insultos degeneraron en gritos y tirones de pelo. Galileo se vio obligado a separar a las dos mujeres de su vida y mandarlas a sus respectivas casas, pero no a tiempo de evitar que su madre sobornara a

uno de sus criados para que espiara sus actividades con Marina. Desde entonces mamá recibía informes regularmente repletos de las muestras de su abyecta ingratitud e infidelidad a la única mujer merecedora de su afecto. (No fue por casualidad que tragedias griegas como *Edipo rey* conocieran un resurgir popular en la Italia renacentista.)

Pero había otros puntos de vista acerca de lo que ocupa el centro del universo. Durante algunos años Galileo había tenido dudas respecto de la cosmología ptolemaica, que colocaba a la Tierra en el centro del universo y se ajustaba a las ideas aristotélicas. Al poco de su llegada a Padua parece haberse inclinado por el modelo copernicano, en el que la Tierra y los planetas giraban alrededor del Sol. La revolución desencadenada por Copérnico iba a desempeñar un papel central en la emergente era científica. El astrónomo polaco había muerto en 1543 tras pasar la mayor parte de su vida como canónigo catedralicio en la pequeña localidad de Frauenburg (hoy Frombork) en la costa báltica de Polonia. Esta cuasisinecura le había proporcionado la seguridad financiera y el tiempo libre necesarios para dedicarse a su obsesión por la astronomía. Curiosamente, ni sus cálculos ni sus observaciones se caracterizan por una gran profundidad de análisis (como media, realizaba observaciones menos de una vez al año, y sus cálculos de las órbitas planetarias eran erróneos). La idea de un sistema heliocéntrico seducía a Copérnico en gran parte por su elegancia.

En otras palabras, la idea que tanto contribuyó al fin de la Edad Media era típicamente medieval en su concepción. Descansaba sobre el ámbito de las ideas en lugar del de la experiencia (según la cual, ironías del sentido común, el Sol parece nacer y ponerse, en lugar de permanecer estacionario). Asimismo, Copérnico refutó las objeciones iniciales a su sistema por medio de ideas, no con datos procedentes de la observación. De hecho, los datos disponibles seguían de parte de sus detractores, que señalaban que si la Tierra giraba alrededor del Sol, las estrellas deberían mostrar un cierto paralaje, es decir, una cierta alteración de sus posiciones en el firmamento al ser contempladas desde una posición diferente. No era este el caso. Con el paso de los días en su fría catedral al borde del helado Báltico, Copérnico dispondría de largas horas para ponderar estos razonamientos y discurrir ingeniosas argumentaciones en contra. En este caso defendió, sin basarse en *evidencia empírica* alguna, que la razón por la que las estrellas no cambiaban de posición era que estaban demasiado lejos. Mucho, mucho más lejos de lo que nadie hasta entonces había imaginado. Copérnico fue el primer pensador moderno en introducir la noción de que el universo ocupaba un espacio cercano al infinito (lo mismo había sido propuesto casi 2.000 años antes por varios astrónomos griegos). Así, tenemos que esta idea moderna y transformadora del universo no se originó a partir de datos experimentales, ni a partir de la razón siquiera, sino a partir de un sofisma. Surgió de una aptitud particularmente medieval: la de salir de un aprieto a base de hábiles argumentos, por aplastante que sea la evidencia en contra de uno.

Este enfoque parece revivir a veces entre la intelectualidad de hoy (véanse, si no, algunos argumentos en favor de la expansión indefinida del universo, una teoría del todo, el fin de la historia, etc.). Pero aún no ha producido una idea de relevancia

remotamente comparable a la de Copérnico, capaz de trastocar por entero nuestra mentalidad. Sin embargo, la abrumadora evidencia del pasado sugiere que ese será el origen de la próxima idea de este tipo. Es sobre ideas tan implausibles en apariencia que todas las visiones del mundo limitadas (incluida la nuestra) han escogido reposar. (El espacio curvo de la relatividad no es menos increíble que un Sol inmóvil.)

Pero volvamos al Renacimiento, y al gran salto adelante de la mente humana. En lo que respecta a Copérnico, los aristotélicos tenían un último as en sus monásticas mangas. Con la Tierra en el centro del universo, todas las cosas caen hacia ella por fuerza «natural». Si la Tierra no estaba en el centro del universo, ¿qué era lo que impelía a todas las cosas, desde las copas de vino hasta el guano, a caer a tierra? Copérnico no tenía respuesta para esto. (La respuesta, cuando llegó, fue por supuesto la ley de la gravedad de Newton, el primer paso real hacia una teoría del todo. Pero fue Copérnico el que inauguró la *posibilidad* de tal cosa.)

Copérnico difundió sus ideas entre sus colegas intelectuales, pero era contrario a su publicación, a pesar de la insistencia de sus amigos. Le gustaba ser canónigo catedralicio y deseaba seguir siéndolo. Solo cuando supo que se estaba muriendo cambió de opinión. El mismo día de su muerte, el 24 de mayo de 1543, vio el primer ejemplar impreso de su libro, destinado a hacer época, *De las revoluciones de los cuerpos celestes (De Revolutionibus Orbium Caelestium)*.

A tono con su enfoque aristotélico subyacente, Copérnico mantenía que las órbitas de los planetas tenían que ser perfectamente circulares y tener velocidades invariables. Era cada vez más difícil cuadrar tales nociones idealistas con la observacion astronómica, que iba adquiriendo dimensiones de moda científica. (Significativamente, la primera revolución científica entre los antiguos griegos vino acompañada de un similar furor astronómico.)

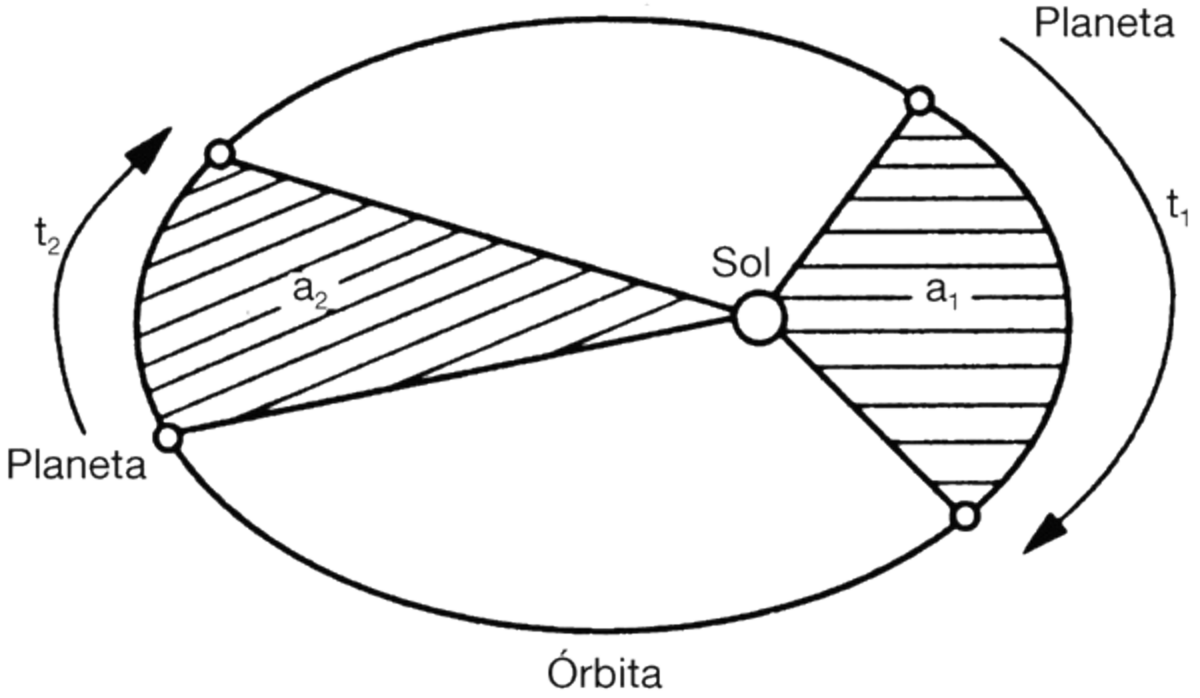
El más eminente observador de la época pretelescópica fue, con mucho, Tycho Brahe. Tycho detectó una nueva estrella en la constelación de Casiopea en 1572. Esta era en realidad una nova (una estrella en explosión), la primera de su clase visible desde el año 134 a.C. Durante un año esta estrella fue más brillante que el planeta Venus, pero era innegablemente una estrella «fija» en el firmamento, no uno de los cuerpos móviles que conformaban el sistema solar. La aparición en escena de esta estrella supuso un nuevo disgusto para quienes no eran pensadores ortodoxos. Según Aristóteles los cielos eran perfectos e inmutables, al estar compuestos de «quintaesencia» (la quinta esencia latente en todas las cosas). El que hubiera una estrella nueva era tan imposible como el que desapareciera una vieja. Para fenómenos como los cometas, que parecían contradecir esta visión, había ingeniosas explicaciones. Tales fenómenos no pertenecían al ámbito de los cielos en absoluto. Tenían lugar en la región sublunar más cercana a la Tierra, por tanto eran fenómenos meteorológicos, no estrellas.

Incapaces de resistirse a un buen razonamiento, los aristotélicos no tardaron en hallar una respuesta para la nueva estrella de Tycho Brahe. En realidad era un «cometa sin cola», y por tanto, también un mero fenómeno meteorológico. Lo malo es que no se movía (lo cual es el principal rasgo distintivo de un cometa). Era indudablemente una

estrella, y había aparecido de la nada de modo igualmente indudable (actualmente recibe el nombre de Tycho, en su honor). Provisionalmente, se llegó a un acuedo: la supuesta estrella, cuya presencia no se podía negar, tendría que ser considerada como una anomalía.

El propio Tycho Brahe era en parte una anomalía. Cuando era todavía un bebé, fue secuestrado por un tío suyo sin hijos y criado en un remoto castillo danés. A los doce años fue testigo de un eclipse solar, y en ese instante juró dedicar su vida a la ciencia. No hay duda, de que entonces en adelante se tomó la ciencia muy en serio, tanto que a los 19 años, a raíz de una disputa matemática, se batió en un duelo en el que perdió la nariz. Su continuada dedicación a la ciencia le compensó con una nariz de plata que él mismo diseñó (este fue el modelo para el similar apéndice de Lee Marvin en el western *Cat Ballou*). Brahe pasó más de 20 años en su observatorio subterráneo sin telescopio en la pequeña islita de Ven, cerca de la costa danesa. Durante este periodo determinó la posición de 777 estrellas.

Hacia el final de su vida el excéntrico Brahe se sintió tentado a ir a Praga, donde el loco y sacro emperador romano Rodolfo II se convirtió en su mecenas. Aquí Brahe montó un observatorio en un castillo bohemio y continuó con sus investigaciones, con la ayuda de un joven y problemático aprendiz, de nombre Johannes Kepler, que padecía de sarna, lombrices y ocasionales delirios durante los cuales creía ser un perro. Al morir Brahe en 1601, Kepler heredó su vasta colección de documentos astronómicos. Como es costumbre entre aprendices, Kepler no tardó en realizar mejoras sobre la obra de su maestro. Detectó una discrepancia en las observaciones de Brahe de Marte, planeta al que había tratado de fijar en su órbita circular, como proponía Copérnico. Con el tiempo se dio cuenta de que Marte, como el resto de los planetas, giraba alrededor del Sol en órbitas elípticas. El Sol estaba en uno de los dos focos de la elipse, y el planeta se iba acelerando según se acercaba a él. Basándose en cálculos que había empleado en uno de sus tratados anteriores –*La nueva geometría sólida de los toneles de vino*– dedujo su famosa ley: «una línea que conecte un planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales a medida que el planeta se desplaza en su órbita».



Cuando $t_1 = t_2$, $a_1 = a_2$.

Galileo inició su correspondencia con Kepler con el cambio de centuria. Confesó a Kepler que creía correcto el cuadro heliocéntrico descrito por Copérnico, pero se abstenía de admitirlo en público por temor a convertirse en el hazmerreír de sus colegas académicos de Padua, quienes seguían siendo casi exclusivamente aristotélicos. Galileo *creía* que el modelo copernicano era correcto, pero no era consciente de que a estas alturas Kepler iba camino tanto de *confirmarlo* como de *mejorarlo.*

En 1604 apareció en el cielo otra supernova. En unos días Galileo oyó hablar de ello y empezó a observar el nuevo fenómeno. Al igual que la estrella de Tycho, esta pronto se volvió tan brillante que era visible incluso de día. Galileo escribió a algunos observadores astronómicos de toda Europa acerca de esta estrella. Le respondieron confirmando su posición y que no mostraba paralaje. Sus observaciones y mediciones mostraban que la nueva estrella no pertenecía al sistema solar y se hallaba en cielos muy distantes.

Galileo inició una serie de conferencias públicas sobre la estrella, en las que señalaba cómo desacreditaba las nociones aristotélicas sobre los cielos. A consecuencia de ello se vio envuelto en una disputa pública con el profesor de filosofía de Padua, Cesare Cremoni, un destacado aristotélico que había sido antes un buen amigo de Galileo. Que un insignificante matemático pretendiera calumniar a Aristóteles –el cimiento mismo del conocimiento y la filosofía a ojos de todos– era más de lo que Cremoni estaba dispuesto a tolerar. Además, los razonamientos de Galileo eran sencillamente defectuosos. Cremoni señaló que las leyes y mediciones físicas solo tenían aplicación en la esfera sublunar, sobre la Tierra. Los cielos, incluyendo todos los planetas y estrellas,

simplemente no estaban sujetos a las mismas leyes. Las mediciones terrestres de esta esfera celeste meramente *parecían* contradecir a Aristóteles –en realidad eran inaplicables y por tanto irrelevantes–. De momento, era imposible para Galileo negar tales razonamientos. Carecía de pruebas convincentes de lo contrario. (Galileo desconocía el trabajo de Kepler sobre las órbitas elípticas de los planetas. Este ponía de manifiesto que las matemáticas eran tan aplicables a los cielos como a la Tierra, sugiriendo que las mismas leyes físicas eran relevantes para uno y otro ámbito).

Galileo tenía ya 40 años y, para su disgusto, la fama y la fortuna duraderas seguían eludiéndole. Otros de estatura insignificante conseguían hacerse un nombre o ganaban más que él. Su salario en Padua era de solo 500 coronas: la mitad de lo que ganaba el profesor de filosofía. Pese a su brillante serie de inventos –ingenios agrícolas, cachivaches militares, instrumentos médicos– ninguno de ellos había dado del todo en la diana. (Para entonces otros habían entrado en el negocio de los compases militares al descubrirse que la patente de Galileo no se aplicaba a las versiones rivales del instrumento producidas antes de que él lo «inventara».) Ahora Galileo tenía que mantener a una familia de tres niños, a una amante de carácter fuerte y a una mamá recalcitrante en su casa de Florencia. Por si esto no fuera suficiente, estaban sus propias costumbres desordenadas.

Galileo importunaba constantemente a sus amigos para pedirles dinero. Incluso incordió a Sagredo para que presionara a las autoridades venecianas con el objeto de que le aumentaran el sueldo. Hasta los que más disfrutaban en su compañía empezaban a encontrarlo un poco pesado a veces. Galileo estaba convencido de su apabullante superioridad como científico, inventor y personaje. Pero el mundo se obstinaba en no reconocer su brillantez. El hombre más inseguro que habitaba tras la fachada sufría un hambre creciente de reafirmación. Había llegado la hora de la crisis de los cuarenta. Lleno de sentimiento y autocompasión, Galileo solicitó un puesto al gran duque de Toscana, Fernando I. Quizá en Florencia le tendrían más aprecio. Fernando I seguía considerándole como uno de los mejores adornos de la Toscana: «el mejor matemático de la cristiandad». Pero hasta entonces no se le había podido persuadir de que diera muestras más concretas de su estima. Pero esta vez la suerte sonrió a Galileo. El gran duque necesitaba un tutor para su hijo y heredero Cosme, de quince años. A Galileo se le permitió disponer de la Villa Fratolino, y pasó un agradable periodo sabático viviendo una vida de lujo, ganándose de paso el afecto de su joven pupilo. Pasado esto, tocaba regresar a Padua y a sus acreedores.

Cuatro años más tarde Galileo habría de corresponder a esta generosidad de manera inusual. La esposa de Fernando, la gran duquesa Cristina, tenía la impresión de que su marido estimaba a Galileo en calidad de gran astrólogo más que como astrónomo. Cuando Fernando cayó enfermo, rogó a Galileo que le hiciera el horóscopo. Temiendo perder su favor, Galileo preparó la consabida sopa de estrellas. Según las constelaciones todo iba bien: los movimientos celestes decretaban que Fernando recobraría pronto la salud y viviría muchos años… cielos, Fernando murió antes de un mes. Parecía cerrarse otra posibilidad de promoción.

Cuando Galileo llegó a la ciudad de Venecia en julio de 1609 para pasar un fin de semana estival, llegó a sus oídos el rumor que recorría la ciudad. Un fabricante de lentes holandés residente en Middelburg había inventado un instrumento que hacía parecer cercanos los objetos distantes. Consistía en dos lentes alineadas dentro de un tubo, y era capaz de hacer que una torre de iglesia situada a muchos kilómetros de distancia se viera como si estuviera a un tiro de piedra. El manejo de una de estas maravillas, conocidas como *perspicillium,* ya se había demostrado en Milán.

Galileo imaginó enseguida el principio básico con el que operaba el invento y con la misma rapidez percibió su potencial comercial. Cuando se enteró de que el *perspicillium* no estaba protegido por una patente, volvió raudo a Padua para atacar el problema. «La primera noche después de mi regreso, lo resolví» presumió más tarde, «y al día siguiente fabriqué el instrumento». Una exageración típica de Galileo, pero no hay duda de que trabajaba deprisa. En menos de dos semanas construyó un instrumento con capacidad para tres aumentos, que rápidamente perfeccionó hasta los diez. Entonces fue a Venecia para realizar una demostración ante el dogo y su consejo. Galileo explicó lo vital que podía ser el artilugio para la defensa de una ciudad marítima como Venecia. Los barcos enemigos podrían ser avistados horas antes de atacar.

El dogo y sus consejeros quedaron enormemente impresionados. Enseguida quedó claro que estaban dispuestos a pagar casi cualquier cantidad para hacerse con un instrumento semejante. Pero durante sus largos años en la República de Venecia Galileo había acabado por aprender un par de cosas sobre política, no sin la ayuda de amigos importantes como Sagredo, que conocían desde dentro el entramado de poder del sistema político veneciano. Galileo entregó su *perspicillium* al dogo como regalo, para la defensa de Venecia. Su recompensa no tardó en llegar. Antes de que pasara un mes el dogo ordenó doblar el salario universitario de Galileo hasta 1.000 coronas, entregándole en el acto un premio de 500 coronas. También declaró vitalicio su puesto de profesor en Padua.

Fue una suerte que todo esto sucediera pronto y resultara ser irrevocable. Más o menos una semana después el mercado empezó a verse inundado de *perspicillia* baratos, y pronto estuvieron a la venta en Venecia por unos pocos escudos. Galileo dijo con desprecio que estos eran meros juguetes de solo unos pocos aumentos, mientras que sus instrumentos tenían muchos, muchos más. Para entonces había conseguido hacer un *perspicillium* de 32 aumentos.

Galileo decidió que había llegado el momento de rebautizar este nuevo instrumento y reclamarlo como suyo. Rápidamente se corrió la voz del maravilloso nuevo instrumento de Galileo, al que llamó «telescopio», un compuesto de los vocablos «lejos» y «ver» en griego. Al igual que el invento, tampoco el nombre fue idea de Galileo. El término «telescopio» se empleó por primera vez por un hombre de múltiples talentos, el príncipe Cesi, quien no solo fundó la primera academia científica moderna, la *Accademia dei Lincei* en Roma; además propuso un sistema racional de clasificación de plantas más de un siglo antes que Linneo, fundador de la botánica moderna. Galileo justificó su pretensión de ser el inventor del telescopio, aun enfrentándose a la evidencia

incontrovertible de lo contrario, con su habitual crudeza: «cualquier idiota puede descubrir una cosa así por casualidad. Yo fui el que lo descubrió con la razón, que es lo que requiere verdadera originalidad». No en vano había afilado sus garras dialécticas en su pugna con los aristotélicos.

No hay duda de que Galileo transformó el tosco invento original en una poderosa herramienta de observación. Entre otros refinamientos introdujo un método para comprobar la curvatura de la lente, lo que posibilitó así el empleo del telescopio para realizar observaciones astronómicas eficientes. Galileo comprendió pronto este uso potencial del telescopio, aunque de nuevo no fue el primero en hacerlo.

Para cuando Galileo apuntó a los cielos con su telescopio, el científico inglés Thomas Harriot ya estaba confeccionando un mapa de la Luna. Harriot fue un hombre extraordinario en muchos campos. Realizó un estudio exhaustivo de los «habitantes naturales» de Virginia, fue miembro de la «escuela de noche» junto con sir Walter Raleigh y el dramaturgo Christopher Marlowe y estuvo envuelto en el motín de la pólvora. Su vida intelectual fue aún más fascinante: tras cartografiar la Luna se convirtió en uno de los principales observadores astronómicos de su tiempo. También fue el creador de una notación simplificada que transformó el álgebra y se convirtió en un entusiasta defensor de «beber» humo de tabaco como panacea. Harriot era un ejemplo típico de la cosecha de genios arrojada por el movimiento sísmico que estaba teniendo lugar en la mentalidad europea.

Como hemos visto, emergía una nueva era. Esto aún nos parece sobrecogedor en el siglo XX, en el que el proceso de transformación ha sido prácticamente continuo; en una era en la que nada semejante había ocurrido en muchos siglos, las consecuencias tenían que resultar por fuerza muy conflictivas. Algunos miraban hacia el futuro, otros estaban decididos a aferrarse a las antiguas certezas. Como Harriot y la invención del telescopio indican, Galileo no estaba ni mucho menos solo, aunque a menudo se sintiera así. El auténtico valor de Galileo puede apreciarse cuando comprendemos que brilló en un contexto tan altamente competitivo. Fue la profundidad de su percepción y su originalidad, si no en la creación, en el desarrollo, lo que le concedió la ventaja en actividades tanto prácticas como teóricas. Aunque su figura no es tan grande como la de Newton, habría de ser su digno predecesor.

Llegados a este punto aún podría afirmarse que Galileo no había desarrollado todo su potencial. Solo en la década siguiente se alzó como una figura trascendental en el panorama europeo, a la altura de un filósofo y matemático de la talla de Descartes, Harvey (descubridor de la circulación sanguínea) o Kepler. Estas fueron las figuras más destacadas entre lo que podríamos llamar la era de Leonardo y la de Newton. La notoriedad de Galileo habría de proporcionarle muchas de las efímeras recompensas que tanto había ansiado, pero también puso a prueba su carácter de un modo que no pudo prever.

Galileo comenzó ahora a explorar los cielos con su telescopio. Se veía a sí mismo como un nuevo Colón, nada menos, y los descubrimientos que realizó fueron casi igual de sensacionales. Hasta ese momento, el conocimiento efectivo de los planetas y las

estrellas había permanecido prácticamente paralizado durante 3.500 años. Los babilonios que escrutaron el cielo nocturno estrellado desde lo alto de sus *ziggurats* habían llevado al límite de sus posibilidades la observación astronómica con ojos desnudos.

La noche que Galileo miró por su telescopio, vio una Luna transformada. En lugar de un disco semicircular y radiante vio un cuerpo esférico grande y misterioso, dividido en dos por una sombra cuyo nítido borde aparecía recortado por la áspera superficie del planeta. Un examen más detenido de la superficie reveló cráteres redondos inconfundibles, cordilleras y lo que parecían ser mares. Se dio cuenta de que era el fin de la astronomía aristotélica. Los cuerpos celestes no eran esferas perfectas en absoluto. Al apuntar el telescopio hacia la Vía Láctea, de ser una bruma diáfana pasó a ser una sima plagada de estrellas.

Enseguida Galileo emprendió una exploración sistemática del sistema solar, y realizó nuevos y sensacionales descubrimientos. ¡Júpiter tenía satélites! A estas nuevas lunas las llamó *Sidera Medicea* (las estrellas Médicis) en honor de su amigo y pupilo (ahora convertido en gran duque). Obervó también las «fases de Venus» –similares a las de la Luna en su manera de crecer y menguar. Esto sirvió de prueba incontrovertible de que Venus giraba alrededor del Sol (y confirmó de paso que la Tierra hacía igual). Galileo observó el Sol, y encontró que tenía motas negras «que parecen consumirse». No solo se disolvían, sino que aparecían de modo aleatorio, tomando toda clase de formas, «como nubes».

Realizó dibujos de Saturno, entonces considerado el planeta más lejano del sistema solar.

Galileo anotó: «Saturno no es una sola estrella, sino tres juntas […] casi se tocan, con un pequeño espacio oscuro entre ellas». Llegó a la conclusión de que: «El planeta más lejano es un sol triple». Lo asombroso no es que Galileo confundiera los anillos de Saturno, sino que pudiera apreciar tantos detalles del planeta con el instrumental tan severamente limitado del que disponía. Cualquiera que intente observar el planeta Saturno con un telescopio de 32 aumentos de la época comprenderá en toda su dimensión la calidad de sus hallazgos. Exigieron largas horas de observación con la vista forzada, perspicaz imaginación científica y un inspirado ejercicio de especulación a partes iguales. Dada su limitada comprensión del cosmos, sus resultados son poco menos que milagrosos.

En 1610 Galileo publicó toda esta nueva información en *El nuncio sideral* (*Siderus Nuncius*). Esta obra breve y elegante la escribió en latín, y se convirtió en un inmediado éxito entre el público lector latino (es decir, entre los que habían recibido una educación,

invariablemente impartida en este idioma poco popular). Como con el resto de sus obras, tuvo sus inevitables detractores. El astrónomo jesuita Christoph Scheiner había construido su propio telescopio en Baviera, con ayuda del cual había visto también manchas en el Sol algún tiempo antes que Galileo. Esto no impresionó sin embargo a su superior, que declaró: «he leído todas las obras de Aristóteles y no he encontrado nada parecido a lo que describe […] sus manchas en el Sol son defectos de sus instrumentos ópticos o de sus ojos». Scheiner tenía una opinión diferente de la de su superior y de la de Galileo. Sostenía que lo que había visto eran pequeños planetas orbitando el Sol muy de cerca, cosa que se vio obligado a publicar de forma anónima.

Galileo reaccionó bruscamente ante la legítima sugerencia de Scheiner de haber sido el primero en descubrir las manchas solares. Una vez más sufría el ataque de los aristotélicos, los jesuitas, de las autoridades papales, de sus enemigos y sus acreedores. Lleno de rimbombante orgullo por ser el famoso autor del *Nuncio sideral*, la nueva sensación de Europa, seguía plagado por las incertidumbres que le empujaban a la paranoia, que iba creciendo a la par que su reputación. Sus respuestas a Scheiner (y a varios otros que hicieron modestas objeciones) fueron insufribles. Galileo se estaba ganando nuevos enemigos innecesariamente.

Al menos su posición en Padua era ahora segura, y vitalicia. Por eso no dejó de sorprender a las autoridades venecianas y al generoso dogo cuando supieron que Galileo había decidido abandonar la serenísima República. En 1610 Cosme de Médicis heredó el gran ducado y ofreció a Galileo el puesto de «primer filósofo y matemático» de la Toscana. Entre las condiciones estaba el alojamiento palaciego en Villa Bellosguardo, sobre una colina con vistas a Florencia. Galileo consideró que era una oferta que no podía rechazar, y es comprensible: significaba que podía olvidarse de las lecciones privadas y de dar clases sobre paparruchas aristotélicas y tonterías cosmológicas ptolemaicas. Se acabaron las intrigas políticas y el tener que dar coba a mediocridades poderosas. En su villa del monte, protegido por el mecenazgo del gran duque, estaría por encima de los tejemanejes políticos y podría dedicar todo su tiempo a la investigación.

Galileo hizo el equipaje y se marchó de Padua, junto con sus dos hijas y su hijo pequeño, pero dejó atrás a Marina. Lo que podría parecer una crueldad debe de haber sido más bien un acuerdo mutuo, o al menos una convención socialmente aceptada. Antes de un año Marina se casó felizmente, lo cual sugiere la ausencia de drama y la presencia de dote (indicios de las dos caras de la moneda galileica). Al que más habría de echar de menos sería a Sagredo, claro. Las ocasiones de juerga no abundaban tanto en la Toscana, cuya época decadente estaba aún por venir. Galileo y Sagredo mantuvieron una correspondencia mensual, incluso semanal en ocasiones, hasta la muerte de Sagredo diez años más tarde.

Las investigaciones de Galileo continuaron a buen ritmo ahora que su mente se veía también libre para especulaciones teóricas de altura. No tardó en ser capaz de predecir los eclipses de las lunas de Júpiter, cuyos movimientos indicaban el movimiento anual de la Tierra alrededor del Sol. Esta habría de constituir la más poderosa evidencia obtenida de la observación por Galileo en favor del sistema copernicano. Ahora le fue

posible elaborar tablas precisas con las posiciones futuras de las lunas de Júpiter y de sus frecuentes eclipses. Sugirió que los navegantes podrían usar las tablas para resolver el problema de establecer su longitud, pero el método resultó no ser práctico. Este problema quedó sin resolver hasta la revolución de la cronometría más de un siglo después.

Curiosamente, pese a su precisa observación del sistema solar, Galileo rechazó las observaciones de Kepler sobre las órbitas planetarias elípticas, y mantuvo toda su vida la postura aristotélica en defensa de las órbitas circulares. Pero esto no le impidió producir ideas originales sobre la mecánica de los planetas en órbita. Galileo sospechaba que el recorrido inercial de un planeta alrededor del Sol se debía a alguna clase de magnetismo. Sus escritos revelan que estuvo muy cerca de concebir la gravedad como fuerza universal, pero no adoptó esta noción, por la misma razón que Descartes, curiosamente. Ambos la consideraban una fuerza «oculta», y recurrieron a una explicación metafísica en lugar de científica. Quizá Galileo estaba lastrado por los vestigios de las ideas de «inercia» y de fuerza «natural» de Aristóteles (por la que todo se veía atraído hacia el centro de la Tierra). Sin embargo, su aplicación de la física al movimiento de los planetas fue un paso de los que hacen época. Primero Kepler aplicó las matemáticas al cosmos, ahora Galileo mostraba que las leyes terrestres de la física eran también universales.

«Las leyes terrestres son aplicables a los cielos.» Esto era ir demasiado lejos, e hizo cosquillas en algunos oídos de las estancias vaticanas, pero Galileo no se inquietó. A la altura de 1611 su figura se había hecho tan célebre que fue invitado a Roma para hacer una demostración de su telescopio ante la corte pontificia. Los notables pontificios quedaron tan impresionados que Galileo consideró llegado el momento de manifestar públicamente su postura copernicana. Publicó un breve escrito sobre las manchas solares en italiano florido, en el que explicaba cómo estas demostraban que el sistema ptolemaico era erróneo. Fue un rápido éxito de ventas, sobre todo entre los estudiantes universitarios. Los académicos aristotélicos percibieron enseguida la amenaza. Si las cosas seguían este camino no tardarían en perder sus empleos, así que clérigos y académicos empezaron a afilar sus temibles armas polémicas. Entretanto, otros empezaron a tirar discretamente de los hilos de su influencia política. Había que hacer algo a propósito de este Galileo.

Los aristotélicos señalaron con toda razón que el sistema heliocéntrico copernicano estaba reñido con la visión del mundo expuesta en las Sagradas Escrituras. La iglesia tenía que actuar, pues no podía tolerarse tal herejía.

El gran conflicto entre la iglesia y la ciencia fue históricamente inevitable aunque fuera, en otro sentido, algo perfectamente innecesario. A lo largo de la Edad Media solo la cristiandad mantuvo viva la cultura occidental. El saber y la cultura fueron preservados en monasterios aislados, mientras en el mundo exterior vándalos, visigodos, vikingos y otros semejantes se dedicaban a lo que se les daba mejor (el vandalismo, las violaciones, el pillaje o el descubrimiento de América). En la medida en que el conocimiento tuvo difusión durante la Baja Edad Media, lo fue por una sola fuente en

exclusiva: la iglesia. Para cuando se llegó a la situación intelectualmente estática de la Alta Edad Media, la iglesia se encontró dueña de todo el conocimiento existente. Con la llegada del resurgir intelectual del Renacimiento, la iglesia tenía más incluso de lo que había podido soñar. Reacia a abandonar tan imponente monopolio, decretó que la ciencia debía mantenerse acorde con sus enseñanzas. El pensamiento progresista se veía así atado a una praxis intelectual estática. Esta situación insostenible tenía que ceder por algún lado. Galileo tuvo la mala suerte de convertirse en figura emblemática en esta pugna.

Por una curiosa inversión, la ciencia de finales del siglo XX se encuentra en una posición sorprendentemente similar a la de la religión en el siglo XVII. La ciencia se considera a sí misma dueña de *todo* el conocimiento. Cualquier conocimiento que no obedezca las reglas de la ciencia es tratada con condescendencia y tildada de metafísica, misticismo, mera psicología, economía, etc. Todo conocimiento *tiene* que ser, por fuerza, científico y los científicos incluso echan sobre sus espaldas el pronunciarse sobre Dios –qué es, si existe, incluso si hay «sitio» para él, etc.–. ¿Se recuperará alguna vez la religión de esta humillación? ¿Sucederá algo que haga a la ciencia lamentar también su arrogancia? Aunque la ciencia quizá haya ido demasiado lejos en su intento de incorporar las preocupaciones espirituales y filosóficas de la humanidad, el que esté destinada a padecer un eclipse comparable al de la religión es algo que está por ver. Vale la pena tener presentes estas consideraciones megahistóricas mientras nos detenemos, junto a Galileo, a presenciar uno de los grandes duelos intelectuales de la historia. El pasado fue una vez el presente, tanto como el presente será un día un pasado plagado de prejuicios ridículos.

Volviendo al siglo XVII… los enemigos de Galileo iniciaron una formidable ofensiva. Pronto hubo clérigos aristotélicos por toda Italia leyendo furiosos sermones de condena a los «matemáticos». Lo que en realidad denunciaban eran las matemáticas mismas, indisputables por su propia naturaleza. Claro que, en un sentido más amplio, esta era una lucha por el poder. La iglesia pugnaba por mantener su menguante influencia paneuropea, por no mencionar sus paneuropeos ingresos. Estos seguían siendo mayores que los de la mayoría de los estados de la época. Se obtenían grandes sumas por medio de timos tales como la venta de bulas, a cambio de las cuales se absolvían pecados y se prometía al comprador entrada libre al cielo.

Para sujetos como Galileo, la iglesia aún contaba con suficiente artillería pesada. Galileo fue denunciado de forma anónima a la Inquisición por realizar pronunciamientos blasfemos. Su creencia en el atomismo constituía una significativa amenaza para el dogma esencial de la eucaristía. Si el vino y las obleas se componían de átomos, no podían convertirse en la sangre y cuerpo de Cristo. Galileo hizo lo posible por salir del aprieto con argumentos. En un escrito a las autoridades de Roma, señaló que la iglesia ya había aceptado tácitamente interpretar las Escrituras de forma alegórica cuando contradecían la realidad científica. Les suplicó que tuvieran consideración con «el agónico dilema que sufren aquellos que, convencidos de algo por una prueba matemática o científica, descubren luego que es pecado creer tal cosa». Galileo se iba hundiendo

cada vez más en las arenas movedizas de la política vaticana. Aunque el sentido figurado del término «bizantino» se originó en referencia a las notorias maquinaciones e intrincados procedimientos de la iglesia oriental, en esto su pariente occidental no se quedaba en absoluto atrás.

Llegó un momento en que Galileo decidió que era conveniente visitar Roma para defender su caso, pero el principal teólogo de la iglesia, el cardenal Roberto Bellarmino, no iba a dejarse convencer por las argumentaciones racionales del mayor científico de su tiempo. A su modo de entender, las matemáticas no tenían ninguna relación con la realidad y estaban fuera de lugar al tratar de la misma. Esta antigua actitud provenía de los tiempos de Platón, y ya había sido demolida por Arquímedes un par de siglos después (aunque el gremio de los fruteros podría reclamar con justicia la prioridad en este caso). Por desgracia, entre Platón y Arquímedes vino Aristóteles, que adoptó la postura platónica. Esto la convirtió andando el tiempo en la posición de la iglesia, y *así debía seguir.*

La iglesia tenía suficientes problemas con los protestantes como para tener que preocuparse ahora de los científicos. En 1616 el cardenal Bellarmino decidió resolver el problema de una vez por todas. La gran obra de Copérnico *De las revoluciones de los cuerpos celestes (De Revolutionibus Orbium Caelestium)* fue incluida en el índice de libros prohibidos y el cardenal redactó un decreto en el que el sistema copernicano era declarado «falso y erróneo» (evidentemente, no bastaba con un solo adjetivo). Galileo fue convocado a una audiencia privada poco antes de que se hiciera público el edicto. Se le advirtió solemnemente de que no debía «mantener ni defender» el copernicanismo, aunque se le permitía debatirlo en calidad de «suposición matemática» (presumiblemente, hacer lo uno habría sido falso, mientras que lo otro sería solamente erróneo).

Galileo lamió sus heridas y volvió a recluirse en su villa toscana. Decidió que era mejor no enredar con el enigma lógico que suponía la actitud de la iglesia, aunque en privado seguía considerando que «La Biblia dice cómo se va al cielo, no cómo el cielo va».

Durante los siete años siguientes Galileo condujo su trabajo científico en privado, publicando solamente ocasionales tratados que evitaban dar pie a la controversia, sobre cuestiones como las mareas y los cometas. Aún así, sus ideas acerca de tales fenómenos seguían siendo *implícitamente* polémicas. Su explicación de las mareas –equivocada, por cierto– exigía que la Tierra girara, tanto sobre su eje como alrededor del Sol. Asimismo, insistía en que los cometas no eran un fenómeno del ámbito sublunar, cosa que suponía destruir la noción aristotélica de los cielos inmutables.

El caso es que, por temperamento, Galileo estaba mal dotado para la vida apacible y retirada. Cuando el padre jesuita Orazio Grassi publicó un influyente panfleto sobre los cometas con la pretensión de ridiculizar sus teorías en favor del sistema copernicano, Galileo ya no pudo contenerse. En 1632, a los 59 años de edad, publicó su respuesta en la forma de un tratado titulado *Saggiatore (El ensayador).* La obra es mucho más que la puesta en evidencia de un científico ingenioso pero ignorante; en ella, Galileo avanza su

postura filosófica sobre la materia al distinguir entre sus cualidades primarias, susceptibles de ser medidas, y las secundarias, que solo pueden ser percibidas, tales como el sabor y el olor. Esta distinción precede al trabajo del filósofo inglés John Locke en más de medio siglo. Locke fue el fundador del empirismo, que puso la filosofía al día con los logros científicos de Newton. Galileo no solo puso los cimientos de la concepción newtoniana de la gravedad. Era además consciente de la importancia de lo que hacía. Fue capaz de prever las implicaciones filosóficas de sus progresos científicos una generación antes que los propios filósofos. Un posible paralelo sería imaginar a un científico del siglo XIX autor de una concepción embrionaria de la relatividad que también pusiera los cimientos de la filosofía de Wittgenstein. Curiosamente, en *El ensayador* Galileo expresa una actitud que de hecho influyó e impresionó a Einstein. Se trata del pasaje en el que declara que «El libro de la naturaleza está […] escrito en caracteres matemáticos», lo cual se convertiría en un artículo de fe en la descripción que Einstein hizo del universo, descripción que reposaba sobre la especulación matemática en lugar de la experimentación.

Por si las moscas, Galileo eligió dedicar su libro a la gloria del nuevo papa, Urbano VIII. Se trataba de algo más que mera adulación o tacto. Ya en 1611 el gran duque de Toscana había presentado Galileo a Urbano VIII, en su anterior condición de cardenal Maffeo Barberini. Pese a ser un devoto aristotélico, a Barberini le impresionaron tanto las ideas de Galileo que escribió un efusivo poema sobre él, que venía a decir lo siguiente:

> Alzamos la vista al cielo / ¿y qué es lo que vemos?… / las orejas del padre Saturno, / las lágrimas de la Vía Láctea, reveladas por tu cristal / ¡oh sabio Galileo!

Barberini era dueño de un vasto intelecto capaz de abrazar tanto la astronomía como la astrología, así como los aparentemente incompatibles sistemas copernicano y ptolemaico. Resulta evidente que la hazaña impresionó a Galileo y le hizo creer que había tenido suerte en lo que al papa se refería.

En 1624 Galileo fue a Roma de nuevo, confiando en que el nuevo papa no dudaría en librarle de su insidiosa promesa al cardenal Bellarmino de callar en lo referente a Copérnico. Pero los talentos de Urbano VIII no se limitaban a su hábil contorsionismo intelectual, cuyo punto culminante alcanzó con la canonización de un Borgia. Para asegurar su acceso al pontificado, Urbano tuvo que ser un contorsionista político igualmente habilidoso. Aunque se mostró de acuerdo con las palabras de Galileo, también estuvo de acuerdo con sus asesores políticos, que decían justo lo contrario. Para su gran decepción, Galileo no fue absuelto de su voto de silencio cósmico. Una vez claro esto, Urbano añadió una estipulación que parecía ir en contra de dicho juicio, estipulación que acababa con unas reflexiones filosóficas que parecían restaurar el anterior *statu quo* (o quizá no). En resumen, Urbano permitió a Galileo escribir acerca de los «sistemas del mundo», pero solo a condición de que no favoreciera al copernicano sobre el ptolemaico. Terminó con una nota profunda, pero algo ambigua:

> Nunca podremos saber cómo Dios hizo el mundo, ya que pudo producir los mismos efectos por medios

inimaginables para el hombre. Por ello no debemos obstinarnos en defender una cierta manera particular de decir cómo está hecho el mundo, pues esto es pretender limitar la omnipotencia de Dios.

Tal credo podía servir de licencia al propio Urbano para creer en tantas teorías contradictorias como su mente pudiera abarcar, pero el mandamiento implícito estaba claro: no predicarás el copernicanismo. Por si había algún lugar para la duda, Galileo recibió una misiva de carácter algo menos filosófico del censor máximo, el cardenal Niccolo Riccardi.

Galileo regresó a su villa en las afueras de Florencia, donde decidió tomar las palabras del papa al pie de la letra, a pesar de lo ambiguo de su sentido. En los años siguientes se dedicó a escribir el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano (Dialogo Sopra i Due Massimi Systemi del Mondo, Tolemaico e Copernicano)*. El diálogo tiene lugar entre tres personajes principales a lo largo de cuatro días en un palacio rosa, en Venecia. La localización es reconocible como el palacio de Sagredo, fallecido doce años antes. Este habría de ser el homenaje de Galileo a su gran amigo y a las muchas veladas que pasaron juntos discutiendo sobre ciencia, literatura y filosofía, bebiendo buen vino en agradable compañía. El propio Sagredo aparece en el diálogo, como el agudo y vivaz intelectual que tira por tierra las ideas enunciadas por el personaje, casualmente llamado Simplicio, que representa el punto de vista aristotélico o ptolemaico. Simplicio es rescatado del ridículo por un personaje, Salviati, que pretende una sabia reconciliación de las dos visiones enfrentadas. Un ejemplo:

SAGREDO (empezando a cansarse ya de la insistencia de Simplicio en la infalible certeza de Aristóteles): Eres como un rico caballero que se ha construido y amueblado un magnífico palacio, para luego descubrir que sus cimientos son defectuosos. Para salvar sus tesoros y riquezas recurres a toda clase de puntales y refuerzos.

SIMPLICIO: Por favor, no seas tan irrespetuoso con Aristóteles. Fue el fundador de la lógica, así como su más logrado exponente. Sería mejor que primero intentaras comprenderlo, antes de pretender refutarlo.

SALVIATI: La lógica es el órgano que nos sirve para filosofar. Un artesano puede ser un constructor de órganos excelente, pero eso no supone necesariamente que sepa tocar el órgano bien.

Salviati se expresa con ambigüedad suficiente para parecer neutral, pero no es difícil adivinar de qué lado está en realidad.

El diálogo fue publicado en 1632, tras su escrutinio y autorización por parte del censor vaticano. El libro fue recibido con entusiasmo en los círculos intelectuales de Europa. Se trataba de una obra maestra que tocaba todos los campos. No solo era un trabajo científico revolucionario, sino también una obra profundamente filosófica y literaria. Urbano estaba complacido por la parte de gloria que le tocaba: el *Diálogo* no era más que la misma obra que él mismo había sugerido a Galileo que escribiera.

Sin embargo, no tardaron en comentar al papa que el nuevo tratado de Galileo estaba lejos de ser la obra imparcial que él suponía. Simplicio podría haber tomado (supuestamente) su nombre de un célebre y antiguo comentarista griego de Aristóteles, pero de hecho se le hacía parecer digno de su nombre. Según los jesuitas, que se la tenían jurada a Galileo por denigrar a su mentor intelectual, el *Diálogo* podía hacer más

daño a la iglesia católica y más por la causa protestante «que Lutero y Calvino juntos».

El papa enfureció y ordenó el inmediato procesamiento de Galileo. Hubo que informar a su santidad de que eso, por desgracia, no era ya posible, por la sencilla razón de que el libro había recibido la licencia de las propias autoridades pontificias. Por una vez no le iba a ser posible nadar y guardar la ropa. Se enfureció aún más.

Pero las cosas no iban a ser tan sencillas para Galileo. Los jesuitas eran hombres de recursos y no tardaron en hallar la manera de superar este obstáculo aparentemente definitivo. Se descubrió en los archivos pontificios un documento de 1616 en el que constaba que durante su audiencia con el cardenal Bellarmino, Galileo había prometido específicamente dejar de «enseñar o debatir el copernicanismo de cualquier forma y modo». Esto significaba que Galileo había obtenido con malas artes (por «extorsión») la licencia de la autoridad para publicar el *Diálogo.* Se emitió de inmediato la orden de procesar a Galileo por «vehemente sospecha de herejía».

Galileo sabía que ahora estaba metido en un buen lío. Sus enemigos se habían preparado bien esta vez, y corría peligro de convertirse en el chivo expiatorio de todo lo que había ido mal en la iglesia, un puesto muy necesario que, en opinión de muchos, llevaba demasiado tiempo vacante. Este puesto público de marioneta *número uno,* con la Inquisición cerniéndose sobre él, tenía poco de envidiable. Hacía solo 30 años que el filósofo y científico Giordano Bruno, también famoso en toda Europa, había comparecido ante el tribunal de la Inquisición en Roma. Lo quemaron en la hoguera, con la boca embutida en una mordaza para que no pudiera propagar sus herejías ni en sus últimos instantes.

Cuando la inevitable convocatoria a Roma llegó a la villa de Galileo, adujo enseguida que estaba demasiado viejo y enfermo para viajar. No era ninguna exageración, pues Galileo contaba ya 68 años y su salud se estaba deteriorando. No le sirvió de nada. No era la clase de invitación que se pudiera rechazar.

Para su sorpresa, Galileo encontró muy comprensiva a la Inquisición. En lugar de la habitual mazmorra con su carcelero neolítico, fue alojado con cierta comodidad, que era a lo que estaba acostumbrado a estas alturas de su vida. Galileo pensó que lo mejor era atenerse a la verdad. Negó de plano haber firmado promesa alguna como la «descubierta» en el documento. La Inquisición, que había sacado sus propias conclusiones acerca del documento, decidió que procedía un arreglo discreto de la cuestión. Algunos creían que no sería tan difícil hallar las palabras para mandar al venerable anciano a su casa sin más que una reprimenda. Otros no. Había que hacer un escarmiento en la figura de Galileo para que la iglesia no quedara en ridículo.

El papa Urbano VIII empezaba a sospechar que el asunto estaba yendo demasiado lejos. Después de todo, algunas de las mejores mentes de Europa aceptaban lo que Galileo decía (quizá él mismo también, aunque no se podía confirmar). Urbano estaba indeciso, pero los jesuitas sabían cómo inclinar la balanza. Informaron a Urbano de que el personaje ridículo del *Diálogo,* Simplicio, estaba inspirado nada menos que… ¡en él mismo!

Galileo fue sentenciado a prisión por un periodo no especificado, pero se decidió que

antes de nada debía ser obligado a abjurar del copernicanismo. Galileo no tardó en venirse abajo durante el interrogatorio. En la obra de Brecht, *Galileo*, es conducido a la puerta de la cámara de tortura para mostrarle los instrumentos. La escena nunca tuvo lugar, pero no carece de justicia poética. Galileo se retractó abyectamente de su ciencia herética. Fue obligado a jurar que «abjuraba, maldecía y detestaba» la teoría heliocéntrica. Como reza la leyenda, no pudo evitar susurrar: «y, sin embargo, se mueve».

Galileo sabía muy bien que había jurado en falso, y que sus admiradores sentirían que les había traicionado a ellos y a la ciencia. No había tenido madera de mártir y quedó derrotado. ¿Fue cobarde, o simplemente prudente? La cuestión queda abierta hasta hoy, y no es una cuestión sencilla. La respuesta debe considerar la psicología de este hombre orgulloso y exaltado, pero imperfecto y lleno de dudas, así como su devoción constante a la causa de la ciencia y comprensión de todo lo que ella representa. Quizá sería más comprensivo decir que fue sabio.

Su condena a prisión fue revocada por el papa y conmutada por la prohibición de abandonar su villa en las afueras de Florencia. Galileo pasó los últimos ocho años de su vida bajo virtual arresto domiciliario. Pese a su edad y declinante salud siguió con su labor investigadora. En 1637, solo unos meses antes de quedarse completamente ciego, descubrió con su telescopio que la Luna se bambolea sobre su eje. Pero su obra más importante de esta época fue el *Discurso sobre dos nuevas ciencias,* también en forma de diálogo entre su querido Sagredo, el sabio Salviati y el desdichado Simplicio. Aquí Galileo compendiaba muchas de sus ideas sobre mecánica y comunicaba los resultados de toda una vida de experimentos. El manuscrito fue sacado a hurtadillas de Italia y llevado a París por el embajador francés en Roma, el conde de Noailles. Los alumnos franceses, holandeses, ingleses y alemanes a los que Galileo había enseñado en Padua eran ahora profesores en las universidades de sus respectivos países. Fueron ellos los que aclamaron la obra de Galileo cuando se publicó por fin en Holanda, e hicieron circular copias entre los estudiantes. La revolución científica estaba en marcha y ya era imparable.

Galileo murió ciego y enfermo, pero había logrado hacerse famoso en toda Europa, como siempre había deseado, el 8 de enero de 1642. Algo después, en el mismo año, nació Newton en Inglaterra. El Vaticano, en 1992, 350 años más tarde, finalmente admitió que en el caso de Galileo «se cometieron algunos errores».

Cronología de la vida de Galileo

1564	Nace en Pisa.
1581	Comienza sus estudios de medicina en la Universidad de Pisa.
1585	Se marcha de Pisa sin título para vivir con su familia en Florencia. Empieza a dar clases.
1589	Obtiene el puesto de profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa.
1590-1	Escribe *De Motu.*
1592	Obtiene el prestigioso puesto de profesor de matemáticas en la Universidad de Padua.
1609	El telescopio llega a Italia y es perfeccionado por Galileo.
1610	Publica *El nuncio sideral* con gran éxito. Se traslada de Padua a Florencia bajo el mecenazgo del gran duque Cosme II.
1611	Realiza una demostración de su nuevo telescopio en Roma.
1614	Es atacado públicamente por la iglesia.
1616	La iglesia le prohíbe «mantener o defender» el sistema copernicano.
1623	Publica *El ensayador.* Maffeo Barberini se convierte en el papa Urbano VIII y permite a Galileo escribir un libro sobre las dos cosmologías rivales.
1632	Tras ocho años de trabajo publica el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo.* La iglesia le convoca a Roma.
1633	El tribunal de la Inquisición le condena a cadena perpetua. Se retracta de su «ciencia herética». Vive bajo arresto domiciliario el resto de su vida.
1638	El manuscrito de *Discursos sobre dos nuevas ciencias* es llevado clandestinamente a Holanda, donde se publica.
1639	Se queda completamente ciego.
1642	Muere a los 77 años.

Otras lecturas recomendadas

James Reston Jr.: *Galileo* (Cassel) –la biografía más reciente, muy completa y entretenida.

Pietro Redondi: *Galileo herético* (Madrid, Alianza, 1990) –se concentra en el proceso y sus antecedentes. Incluye información de documentos de los archivos vaticanos recientemente desclasificados.

Galileo Galilei (Stillman Drake, con introducción de Albert Einstein): *Galileo* (Madrid, Alianza, 1984) –la obra del maestro, presentada por el maestro del siglo XX.

Ernan McMullin (ed.): *Galileo: Man of Science* (Basic Books) –Variada colección de ensayos sobre el personaje, su obra y su influencia. Rigurosa sin ser demasiado especializada.

Paul Strathern, escritor y académico, es uno de los más conocidos divulgadores del panorama editorial internacional. Autor tanto de novelas, biografías y libros de viajes, como de ensayos de divulgación, ha enseñado, como profesor universitario, matemáticas, filosofía y poesía moderna italiana.

90 MINUTOS

CIENTÍFICOS

TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA SERIE

Arquímedes y la palanca
Bohr y la teoría cuántica
Crick, Watson y el ADN
Curie y la radiactividad
Darwin y la evolución
Einstein y la relatividad
Galileo y el sistema solar
Hawking y los agujeros negros
Newton y la gravedad
Oppenheimer y la bomba atómica
Pitágoras y su teorema
Turing y el ordenador

Índice

Portadilla 2
Legal 3
Curie y la radiactividad en 90 minutos 4
- Portadilla 5
- Legal 7
- Introducción 8
- Vida y obra 9
- Fechas importantes en la vida de Marie Curie y para la radiactividad 38
- Otras lecturas recomendadas 39

Einstein y la relatividad en 90 minutos 40
- Portadilla 41
- Contra 42
- Legal 43
- Introducción 44
- Vida y obra 45
- Algunos puntos clave 73
- Cronología 75
- Otras lecturas recomendadas 77

Bohr y la teoría cuántica en 90 minutos 78
- Portadilla 79
- Contra 80
- Legal 81
- Introducción 82
- Vida y obra 83
- Caprichos y quarks del mundo cuántico 119
- Vida y tiempo de Niels Bohr 121
- Otras lecturas recomendadas 123

Hawking y los agujeros negros en 90 minutos 124
- Portadilla 125
- Contra 126
- Legal 127
- Introducción 128

Vida y obra: una breve historia de Hawking 129
Grandes momentos de la historia del universo 158
Otras lecturas recomendadas 159
Newton y la gravedad en 90 minutos 160
Portadilla 161
Contra 162
Legal 163
Introducción 164
Vida y obra 166
Citas diversas 200
Cronología 202
Otras lecturas recomendadas 204
Galileo y el sistema solar en 90 minutos 205
Portadilla 206
Contra 207
Legal 208
Introducción 209
Vida y obra 210
Cronología de la vida de Galileo 243
Otras lecturas recomendadas 244
Títulos publicados 245